



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

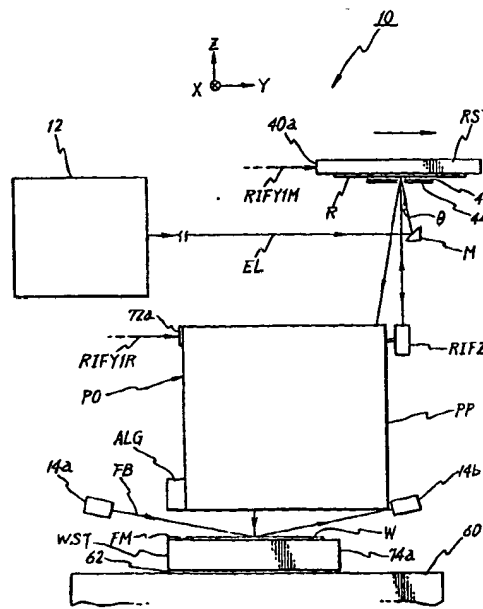
<p>(51) 国際特許分類6 H01L 21/027, G03F 7/20</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO99/26278</p> <p>(43) 国際公開日 1999年5月27日 (27.05.99)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP98/05118</p> <p>(22) 国際出願日 1998年11月13日 (13.11.98)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平9/330861 1997年11月14日 (14.11.97) JP 特願平9/330862 1997年11月14日 (14.11.97) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 太田和哉(OTA, Kazuya)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 川北喜十郎, 外(KAWAKITA, Kijuro et al.) 〒160-0022 東京都新宿区新宿五丁目1番15号 新宿MMビル Tokyo, (JP)</p>	<p>(81) 指定国 AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, SL, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54) Title: EXPOSURE APPARATUS AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称 露光装置及びその製造方法、並びに露光方法

(57) Abstract

An exposure method, wherein, when illuminating light (EL) is applied from an illuminating system (12, M, 44) to a pattern surface of a mask (R) at a predetermined incident angle  $\theta$ , it is reflected off the pattern surface, the reflected light being projected onto a substrate (W) by a projection optical system (PO), whereby the pattern in a region on the mask (R) illuminated by the illuminating light is transferred to an upper surface of the substrate (W), a stage control system synchronously moving a mask stage (RST) and a substrate stage (WST) in a Y-direction during the pattern transfer operation while regulating a relative position in a Z-direction of the mask (R) with respect to the projection optical system (PO) on the basis of predetermined regulating position information, this enabling the occurrence of magnifying power error and displacement of a transfer image of the pattern on the substrate (W), which is ascribed to Z-displacement of the mask, to be effectively minimized in spite of the fact that a mask side portion of the projection optical system is nontelecentric, and the accuracy of superposition to be thereby improved, this method being suitably used, especially, for the exposure of a high resolution using illuminating light in a soft X-ray region.



## (57)要約

照明系（12、M、44）によりマスクRのパターン面に対し所定の入射角 $\theta$ で照明光ELが照射されると、照明光ELがパターン面で反射され、反射光が投影光学系POによって基板W上に投射され、照明光で照明されたマスクR上の領域のパターンが基板W上に転写される。転写に際して、ステージ制御系では、所定の調整用位置情報に基づいてマスクRの投影光学系POに対するZ方向の相對位置を調整しつつ、マスクステージRSTと基板ステージWSTとをY方向に沿って同期移動させる。これにより、投影光学系POのマスク側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクのZ変位に起因して基板W上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制でき、この結果、重ね合わせ精度が向上する。特に、軟X線領域の照明光を用いた高解像度の露光に好適である。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール
AL	アルバニア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SI	スロヴェニア
AM	アルメニア	FR	フランス	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AT	オーストリア	GA	ガボン	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AU	オーストラリア	GB	英国	LT	リトアニア	SN	セネガル
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	TD	チャード
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CA	カナダ	ID	インドネシア	MW	マラウイ	US	米国
CF	中央アフリカ	IE	アイルランド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CG	コンゴ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CH	スイス	IN	インド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CI	コートジボワール	IS	アイスランド	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CM	カメルーン	IT	イタリア	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CN	中国	JP	日本	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KE	ケニア	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KG	キルギスタン	RO	ルーマニア		
CZ	チェッコ	KP	北朝鮮	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KR	韓国	SD	スーダン		
DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LC	セントルシア				

## 明 細 書

露光装置及びその製造方法、並びに露光方法

## 技術分野

本発明は、反射型マスクを用いた露光装置及び露光方法に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子や液晶表示素子等の回路デバイスをリソグラフィ工程で製造する際に用いられる露光装置及びその製造方法並びに露光方法に関する。

## 背景技術

現在、半導体デバイスの製造現場では、波長 365 nm の水銀ランプの i 線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパを使って最小線幅が 0.3 ~ 0.35  $\mu$ m 程度の回路デバイス（64 M（メガ）ビットの D-RAM 等）を量産製造している。同時に、256 M ビット、1 G（ギガ）ビット D-RAM クラスの集積度を有し、最小線幅が 0.25  $\mu$ m 以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrF エキシマレーザ光源からの波長 248 nm の紫外パルスレーザ光、或いは ArF エキシマレーザ光源からの波長 193 nm の紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）と感応基板としてのウエハを縮小投影光学系の投影視野に対して相対的に 1 次元走査することで、ウエハ上の 1 つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を転写する走査露光動作とショット間ステッピング動作とを繰り返す、ステップアンドスキャン方式の走査型露光装置の開発が行われている。

ところで、半導体デバイスの集積度は、将来的に更に高集積化し、1 Gビットから4 Gビットに移行することは間違いがなく、その場合のデバイスルールは0.1  $\mu\text{m}$ すなわち100 nm L/S程度となり、上記の波長193 nmの紫外パルスレーザ光を照明光として用いる露光装置により、これに対応するには技術的な課題が山積している。デバイスルール（実用最小線幅）を表す露光装置の解像度は、一般的に露光波長 $\lambda$ と、投影光学系の開口数N. A. を用いて次式（1）で表される。

$$(\text{解像度}) = k \cdot \lambda / \text{N. A.} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、kはケイファクタと呼ばれる1以下の正の定数で、使用されるレジストの特性などにより異なる。

上記式（1）から明らかなように解像度を高くするには、波長 $\lambda$ を小さくすることが極めて有効であるため、最近になって波長5～15 nmの軟X線領域の光（本明細書では、この光を「EUV（Extreme Ultra Violet）光」とも呼ぶ）を露光光として用いるEUV露光装置の開発が開始されるに至っており、かかるEUV露光装置が最小線幅100 nmの次世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

EUV露光装置では、一般的に反射型レチクルを用い、この反射型レチクルに照明光を斜めから照射し、そのレチクル面からの反射光を投影光学系を介してウエハ上に投射することによって、レチクル上の照明領域のパターンがウエハ上に転写されるようになっている。また、このEUV露光装置では、投影光学系の結像性能の良好な部分のみを利用してパターンの転写を行うべく、レチクル上にはリング状の照明領域が設定され、レチクルとウエハとを投影光学系に対して相対走査することによりレチクル上のパターンの全面を投影光学系を介してウエハ上

に逐次転写する走査露光方法が採用されている。

反射型レチクルを用いる理由は、EUV露光装置に使用される光の波長（5～15 nm）を、吸収なく効率的に光を透過するレチクル製造用物質が存在しないからである。またビームスプリッタを作成するのも困難であるため、レチクルに対する照明光は斜めから照射しなくてはならない。

このため、レチクル側が非テレセントリックになり、光軸に沿う方向のレチクルの変位がウエハ上ではリング上の露光領域（レチクル上の前記リング状照明領域に対応するウエハ上の領域）の長手方向には倍率変化、短手方向には位置変化として現われる。

具体的な数値を挙げて説明する。露光光として波長13 nmのEUV光を使用して解像度100 nm L/Sの投影光学系を設計するものとする。

上記式（1）式は、次式（2）のように変形できる。

$$N.A. = k \cdot \lambda / (\text{解像度}) \quad \dots\dots (2)$$

今仮に $k=0.8$ とすれば、（2）式より、解像度100 nm L/Sを得るために必要なN.A.は、 $N.A. = 0.104 \div 0.8$ であることが分かる。勿論、このN.A.はウエハ側における値であり、レチクル側のそれとは異なる。

ここで、投影光学系の投影倍率を、i線、g線、やKrFエキシマレーザ、或いはArFエキシマレーザを露光光として用いる従来の遠紫外線露光装置（DUV露光装置）で一般的に用いられる4：1とすると、ウエハ側でN.A.が0.1ならば、レチクル側はその4分の1の0.025である。このことは、レチクルに照射される照明光は、主光線に対して角度約±25 mradの広がりを持

つことを意味する。従って、入射光と反射光が互いに重ならないようにするには、入射角は最低でも  $25 \text{ mrad}$  以上でなければならないことになる。

例えば、図16において、入射角 $\theta$  (=出射角 $\theta$ ) を  $50 \text{ mrad}$  とすれば、レチクルRのパターン面のZ方向の変位(以下、適宜「レチクルのZ方向の変位」ともいう)  $\Delta Z$  に対するレチクルRに描かれた回路パターンの横ずれ $\varepsilon$ は次式(3)で表わされる。

$$\varepsilon = \Delta Z \cdot \tan \theta \quad \dots\dots (3)$$

この式(3)から、例えばレチクルRが図16の上下方向(Z方向)に  $1 \mu\text{m}$  変位した場合、レチクルパターン面における像の横ずれは約  $50 \text{ nm}$  となり、ウエハ上ではその4分の1の  $12.5 \text{ nm}$  の像シフトが生ずることがわかる。デバイスルールが  $100 \text{ nm L/S}$  の半導体プロセスにおいて許容できるオーバーレイ誤差(重ね合せ誤差)は  $30 \text{ nm}$  以下とも言われており、レチクルのZ方向の変位だけで  $12.5 \text{ nm}$  ものオーバーレイ誤差が生ずることは非常に厳しいと言える。すなわち、オーバーレイ誤差は、その他の要因、レチクルとウエハの位置合わせ精度(アライメント精度)やいわゆるステッピング精度を含むウエハステージの位置決め精度や投影光学系のディストーション等によってそれぞれ  $10 \text{ nm}$  程度生じうるからである。

また、レチクルのZ方向変位は、レチクルの平行度やレチクルを支えているレチクルホルダの平坦度によっても引き起こされるため、上記のレチクルのZ方向変位に起因して生ずるオーバーレイ誤差の低減を図る技術の開発は、今や急務となっている。

ところで、反射型レチクルのパターン面に形成される反射膜として現在開発さ

れている材料はせいぜい70%前後の反射率しかない。そのため残りの30%が吸収されて熱に交換され、反射光学系を構成するミラー（反射光学素子）の温度上昇を招く。この温度上昇により最悪ミラーが大きく変形し、十分な結像特性を維持することができなくなってしまう。このため、これまでのEUV露光装置ではミラーの背面に強制冷却手段、例えば液体冷却とか、ペルチェ素子による冷却を施すことによりミラーの熱を逃がしていた。

この場合、ミラーの材質として考えられているのは、低膨張ガラスや金属である。低膨張ガラスは温度変化に対する線膨張率が極めて小さいため、かなりの温度変化に対してはその変形量が結像性能を悪化させることは無いが、それにも限度があるため冷却することが望ましい。

しかしながら、低膨張ガラスは熱伝導率が極めて低いことから、上記の如く、ミラー背面側を単に冷却するという手法では、ミラー表面で発生した熱が裏面に伝わるまでに多大な時間を要し、結果的にミラー表面から裏面に掛けて温度勾配が生じ、最も重要なミラー表面、すなわち反射面を十分に冷却することができず、この結果反射面に変形が生じて投影光学系の結像特性が悪化し、これにより基板上に転写されるパターンの像（以下、「転写像」ともいう）が劣化するおそれがあるという不都合があった。

また、転写像の劣化は、パターンが形成されたマスクの照明光吸収による熱変動（照射変動）によっても生じ得る。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、露光の際のパターンの重ね合せ精度の向上することができる露光装置、特に反射光学系を投影光学系として備える露光装置を提供することにある。

前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードフォワード制御にて調整しても良い。あるいは、前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードバック制御にて調整しても良い。前者の場合には、ステージ制御系ではマスク上の時々刻々のパターン転写の対象領域が露光用照明光の照射領域に差し掛かる前にマスクの光軸方向位置を計測するいわゆる先読み制御を行うことが必要となるが、計測された情報に基づいてフィードフォワード制御にて前記マスクの第1軸方向の位置を調整できるので、その調整に際して制御遅れが発生し難い。また、後者の場合には、前者の場合に比べて制御遅れが発生する可能性が高いが、先読み制御等が不要であることに加え、より高精度にマスクの第1軸方向の位置を調整できる。

上記露光装置は、前記マスク（R）のパターン面に近接して配置され、前記露光用照明光が照射される前記マスク上の第1照明領域（IA）を規定する第1スリット（44a）と、前記マスクに形成されたマーク（例えばRM1、RM4）部分に前記露光用照明光が照射される第2照明領域を規定する第2スリット（44b）とを有するスリット板（44）と；前記スリット板（44）を、前記露光用照明光が前記第1スリット（44a）に照射される第1位置と、前記露光用照明光が前記第2スリット（44b）に照射される第2位置との間で切替える切替機構（46）とを更に備え得る。このように構成すれば、切替機構では、露光時にはスリット板を第1位置に切り替えて、露光用照明光がマスク上の第1照明領域を規定する第1スリットに照射されるようにし、マスクの位置合わせ（アライメント）時にはスリット板を第2位置に切り替えて、露光用照明光がマスクに形成されたマーク部分に照射される第2照明領域を規定する第2スリットに照射されるようにすることができる。これにより、同一のスリット板を用いて露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になり、それぞれの



目的に応じたスリット板を設ける必要がなくなる。

前記露光装置は、前記マスクステージ（R S T）と前記基板ステージ（W S T）と前記投影光学系（P O）とが別々の支持部材に支持され、前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第 1 軸に直交する前記第 2 軸を含む面内の位置を計測する干渉計システム（7 0）を更に備え得る。この場合、前記干渉計システムが前記投影光学系を支持する部材に対する前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第 1 軸に直交する前記第 2 軸を含む面内の相対位置を計測し得る。これによれば、マスクステージと前記基板ステージと前記投影光学系とが別々の支持部材に支持されているが、干渉計システムが投影光学系を支持する部材に対するマスクステージと基板ステージとの第 1 軸に直交する第 2 軸を含む面内の相対位置を計測するので、マスクステージと基板ステージとの位置を投影光学系を支持する部材を基準として管理することができ、何らの不都合も生じない。すなわち、マスクステージと基板ステージと投影光学系とが機械的に連結されていないので、マスクステージ、基板ステージの移動時の加減速度による反力やそれぞれのステージの支持部材の振動が、投影光学系の結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

前記露光装置において、前記露光用照明光（E L）が軟 X 線領域の光であり、前記基板ステージ（W S T）上に、蛍光発生物質（6 3）と、この表面に前記露光用照明光の反射層（6 4）又は吸収層の薄膜により形成された開口（S L T）と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子（P M）とを有する空間像計測器（F M）を更に備え得る。これによれば、基板ステージ上に、蛍光発生物質と、この表面に露光用照明光の反射層又は吸収層の薄膜により形成された開口と、開

口を介して露光用照明光が蛍光物質に到達した際に蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器を更に備えるので、前述した如く、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となる。従って、この空間像計測器を用いてマスクパターンの基板ステージ上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

上記露光装置において、前記露光用照明光（EL）が軟X線領域の光である場合には、前記マスク（R）のパターンが、前記露光用照明光を反射する反射層上に、前記露光用照明光を吸収する物質を塗布することによって形成されていることが望ましい。かかる場合には、露光用照明光の吸収物質によってパターンが形成されている（パタニングされている）ので、露光用照明光である軟X線領域の光の反射物質としての多層膜をパタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計の測長ビーム（例えば可視領域の光）に対してほぼ同一反射率に設定することができ、マスク上の全面でほぼ同一精度でマスクの光軸方向位置を計測することが可能となる。

本発明の第1の態様に従う露光装置において、本発明の第2具体例に示したように、マスクステージ及び基板ステージを移動可能に支持する共通のベース盤と、該ベース盤を移動可能に支持する定盤とをさらに備えてよく、該マスクステージ及び基板ステージの少なくとも一つのステージの移動により生じる反力に応じてベース盤が移動するように構成することができる。このように構成することにより、照明光に対してマスクステージと基板ステージとを同期して移動しながら露光を行う走査露光を実行しても、ステージの移動により生じる偏荷重に基く露光装置の振動を抑制することができる。

さらに、本発明の第1の態様に従う露光装置において、前記反射光学系が複数のミラーを含み、該ミラーの少なくとも一つを温度調整するための熱交換器、例えば、ヒートパイプをさらに備え、該熱交換器が該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域上に装着されていてもよい。また、かかる熱交換器は、本発明の後述する第2～4及び7の態様に従う露光装置に適用してもよい。

本発明の第2の態様に従えば、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、前記マスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置(RST、WST、80、34、62)と；前記同期移動中に前記投影光学系に対して前記マスクを前記第1方向に相対移動させることによって前記パターンの像倍率誤差を補正するための補正装置(80、34、RST)とを備える露光装置が提供される。

第2の態様に従う露光装置によれば、照明光学系からマスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸方向の照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクに対して斜め方向から照射される。そして、この照明光はマスク面で反射され、この反射光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中に、補正装置ではパターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系に対してマスクを第1方向に相対移動させる。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際

補正装置により、パターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系に対してマスクが第1方向に相対移動されるので、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

この場合において、前記照明光学系（PRM、IM、30、M、44）は、前記照明光（EL）として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスク（R）に照射し、前記投影光学系（PO）は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴としてもよい。かかる場合には、露光用照明光としてEUV光を用いてマスクのパターンが反射光学素子のみからなる投影光学系を介して基板上に転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能になる。

上記露光装置において、前記補正装置（80、RST、34、RIFZ）は、前記マスク（R）の前記第1方向の位置を計測する計測装置（RIFZ）を有する場合には、前記計測装置の出力に基づいて前記マスクを移動するようにしても良い。

本発明の第3の態様に従えば、マスク（R）のパターンを基板（W）上に転写する露光装置であって、前記マスク（R）と直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系（PRM、IM、30、M、44）と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系（PO）と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置（RST、WST、80、34、62）と；前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置（80、RST、34）とを備える露光装置が提供される。

第3の態様の露光装置によれば、照明光学系からマスクと直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からの照明光がマスクに対して斜め方向から照射される。そして、マスクから出射されるマスクと直交する第1方向に対して主光線が傾いた照明光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中のマスクの移動によって生じるパターンの像倍率の変化が補正装置によって補償される。従って、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際補正装置により、パターンの像倍率誤差が補償されるので、マスクの移動に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

第3の態様の露光装置において、前記マスク(R)は反射型マスクであり、前記照明光学系(PRM、IM、30、M、44)は、前記照明光として波長5～15nmの間のEUV光を前記マスクに照射し、前記投影光学系(PO)は、複数の反射光学素子(M1～M4)のみからなるものであっても良い。かかる場合には、露光用照明光としてEUV光を用いてマスクのパターンが反射光学素子のみからなる投影光学系を介して基板上に転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能になる。

上記第3の態様の露光装置において、前記補正装置(RST、80、34)は、前記同期移動中、前記投影光学系の物体面側で前記マスク(R)を前記第1方向に移動する駆動部材(RST、34)を含んでも良い。この場合において、駆動部材は、同期移動中、投影光学系の物体面側でマスクを第1方向に移動させ

るものであれば足りるが、例えば、前記駆動部材は、前記投影光学系の物体面に対して前記マスクを相対的に傾けるものであっても良い。かかる場合には、同期移動中、駆動部材によって、投影光学系の物体面側でマスクが第1方向に移動させるのに加え、投影光学系の物体面に対する傾斜調整も可能になるので、投影光学系の物体面側が非テレセトリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

本発明の第4の態様に従えば、マスク(R)のパターンを基板(W)上に転写する装置であって、前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、44)と；前記マスクで反射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)とを備え、前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞り(44)を有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする装置が提供される。これによれば、照明光学系からマスクの垂線に対して傾けられた照明光がマスクに照射される。すなわち、照明光学系からマスクに対して斜めから照明光が照射される。そして、マスクで反射された照明光が投影光学系により基板上に投射され、マスクのパターンが基板上に転写される。また、この場合、照明光学系は、マスクに対して照明光の入射側に近接して配置され、マスク上での照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、視野絞りによって照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整するので、視野絞りのない場合に比べて照明光学系からマスクに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。特に、視野絞りによってマスク上での照明光の照射領域の位

置を調整する場合には、同一照明光を別の目的、例えば露光、マーク位置検出等に用いることが可能になる。

第4の態様に従う装置において、前記視野絞り(44)は、前記パターンの一部に前記照明光(EL)を照射する第1開口(44a)と、前記マスクに形成されるマーク(例えば、RM1とRM4)に前記照明光を照射する第2開口(44b)とを有し、前記第1開口と前記第2開口とを切り替える切替機構(46)を備えることが望ましい。かかる場合には、切り替え機構では、露光時には視野絞りを第1開口側に切り替えて、照明光がマスク上のパターンの一部に照射されるようにし、マスクの位置合わせ(アライメント)時には視野絞りを第2開口側に切り替えて、照明光がマスクに形成されたマークに照射されるようにすることができる。これにより、同一の視野絞りにより露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。

本発明の第5の態様に従えば、マスク(R)と基板(W)とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを投影光学系(PO)を介して前記基板上に転写する露光方法において、前記マスク(R)として反射型マスクを用意し、前記投影光学系(PO)として反射光学系を使用し、前記マスクのパターン面に対し所定の入射角 $\theta$ で露光用照明光を照射して前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスク(R)の前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクと基板とを前記第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させることを特徴とする露光方法が提供される。

この方法によれば、マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を

照射して露光用照明光により照明されたマスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写するに際し、所定の調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、マスクと基板とが第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動される。従って、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてマスクの投影光学系の光軸方向（第1軸方向）の位置が調整されるので、投影光学系（反射光学系）のマスク側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

この方法において、前記調整用位置情報は、前記マスク（R）の前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、前記マスク（R）と基板（W）との前記同期移動時に、前記マスクの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴としても良い。かかる場合には、マスクと基板との同期移動時に、マスクの移動方向毎に、第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてマスクの第1軸方向の位置を調整することから、マスクが第2軸に沿って一方側から他方側に移動するときと、他方側から一方側に移動するときとで、同期移動中の第1軸方向の位置変位が機械的要因（ステージの移動特性）等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にマスクの第1軸方向の位置調整を行うことができ、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができる。



上記露光方法において、前記調整用位置情報は、予め計測された情報であっても良く、あるいは、前記マスクと基板との前記同期移動中に前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整するようにしても良い。前者の場合には、マスクと基板との同期移動中に、マスクの第1軸方向変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいて例えばフィードフォワード制御により調整することができるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難く、またマスクの第1軸方向位置調整のための構成部分を簡略にすることができる。また、後者の場合には、同期移動中に計測した情報を用いてフィードバック制御により高精度にマスクの第1軸方向の位置を調整できる。

本発明の第6の態様に従えば、マスク(R)のパターンを投影光学系(PO)を介して基板(W)上に転写する露光方法において、前記マスクと直交する方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射し、前記照明光に対して前記マスクを相対移動するのに同期して、前記マスクで反射されて前記投影光学系を通過する照明光に対して前記基板を相対移動し、前記マスクと前記基板との同期移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償することを特徴とする露光方法が提供される。ここで、「マスクと基板との同期移動によって生じるパターンの像倍率の変化」とは、同期移動中のマスクの移動、主として投影光学系の光軸方向の移動に起因するパターンの像倍率の変化を意味する。

第6の態様に従う方法によれば、マスクと基板との同期移動によって生じるパターンの像倍率の変化を補償するので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

本発明の第7の態様に従えば、マスク（R）のパターンを基板（W）上に転写する露光装置であって、前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系（PRM、IM、30、M、44）と；前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系（PO）と；前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置（RST、WST、80、34、62）と；前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置（80、RIFZ、34、RST）とを備える露光装置が提供される。

第7の態様に従う露光装置によれば、照明光学系からマスクのパターン面に対して傾けて照明光が照射される。照明光学系からの照明光がマスクのパターン面に対して斜め方向から照射される。そして、この照明光はマスク面で反射され、この反射光が投影光学系によって基板上に投射され、照明光で照明されたマスク上のパターンが基板上に転写される。このマスクパターンの転写に際して、駆動装置では投影光学系の倍率に応じた速度比でマスクと基板とを同期移動する。この同期移動中に、調整装置では投影光学系の物体面と直交する方向のマスクの位置と、物体面に対するマスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する。これにより、走査露光によりマスクのパターンの全面が基板上に逐次転写され、この際調整装置により、投影光学系の物体面と直交する方向のマスクの位置と、物体面に対するマスクの相対的な傾きとの少なくとも一方調整するので、マスクの光軸方向変位又は傾斜に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差、又はディストーションが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

本発明の第8の態様に従えば、照明光（EL）によりマスク（R）を照射し、該マスクに形成されたパターンを基板（W）上に転写する露光装置であって、複数のミラー（M1～M4）から成る反射光学系を有し、該反射光学系により前記パターンを基板上に投影するための投影光学系と、前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーの反射面上の非照射領域に配置された冷却装置（HP、52）とを備える露光装置が提供される。

第8態様に従う発明は、EUV露光装置のように投影光学系として反射光学系を用いる露光装置、あるいは反射屈折光学系を用いる露光装置では、照明光は反射光学素子の一部にのみ照射されるので、照明光が照射されない領域であればその反射面上に冷却装置を配置することが可能であるということに着眼して成された。

上記露光装置によれば、投影光学系を構成する複数のミラーの内の少なくとも一つのミラーの反射面上の照明光の非照射領域に冷却装置を配置して備えることから、限界を超える温度変化が生じないように反射面を直接冷却することにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化を防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

上記少なくとも一つのミラーは、熱伝導率が比較的小さい材料、例えば、熱伝導率が $5.0 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ になるような材料から構成され得る。熱伝導率が小さい材料から構成することにより、かなりの温度変化に対しても熱伝導によるミラーの変形が抑制され、これにより結像特性の劣化を防止することができる。ミラーを構成する材料として、例えば、ショット社から入手可能である、低膨張ガラスとしてのゼロデュア（商品名）（熱伝導率 $1.6 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ）やコーニング社のULE（商品名）が好適である。この場合において、熱伝導率が高い材料により

形成された他のミラーについては、従来と同様に裏面側から冷却しても勿論良い。また、この場合、前記反射面上に前記冷却装置が配置された前記ミラーの裏面側にも冷却装置が配置されていても構わない。

本発明の第9の態様に従えば、照明光（EL）によりマスク（R）を照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系（PO）を介して基板（W）上に転写する露光装置であって、前記投影光学系として前記照明光が順次照射される第1ミラー（M1）と第2ミラー（M2）とを含む複数のミラー（M1～M4）から成る反射光学系が用いられ、前記複数のミラーを保持する鏡筒（PP）を冷却する鏡筒冷却装置（52）と；前記複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーと前記鏡筒との間に設けられた熱交換器（HP）とを備える露光装置が提供される。

この態様の露光装置によれば、鏡筒冷却装置により複数のミラーを保持する鏡筒が冷却される。また、照明光の照射により前記複数のミラーに温度上昇が生じると、熱交換器により複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーと鏡筒との間で熱交換が行われ、該ミラーが強制的に冷却される。この熱交換器による熱交換は、該ミラーに対する照明光の照射中は連続的に行われる。従って、熱交換器が接続されたミラーの変形を防止することができ、投影光学系の結像特性が悪化するのを防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。この意味からは、鏡筒に保持された全てのミラーと鏡筒との間に熱交換器を設け、全てのミラーの熱変形を防止するようにしても勿論良い。あるいは、照明光が最初に照射される第1ミラーにのみ熱交換器を接続しても良い。あるいは第1ミラーに加え、第2ミラーに熱交換器を接続してもよい。照明光の熱エネルギーは第1ミラーの位置で最も高いので少なくとも第1ミラーと鏡筒との間に熱交換器を設け、第1ミラーを強制冷却することが望ましい。

第9の態様に従う露光装置において、前記鏡筒が少なくとも1つのミラーをそれぞれ保持する複数の分割鏡筒（PP、PP'）から成り、前記鏡筒冷却装置が、前記各分割鏡筒を独立して冷却し、前記熱交換器（HP）は、前記各分割鏡筒と該分割鏡筒によって保持される少なくとも1つのミラーとの間に少なくとも各1つ設けられ得る。このように構成すれば、鏡筒冷却装置が各分割鏡筒を独立して冷却するので、分割鏡筒毎に異なる温度で冷却することが可能となり、結果的に各分割鏡筒とそれによって保持されたミラーとの間に設けた熱交換器により、各分割鏡筒毎にミラーを異なる温度まで強制冷却することが可能になる。ここで、前記複数の分割鏡筒の1つは、前記照明光（EL）が最初に照射される前記第1ミラー（M1）を保持する分割鏡筒（PP'）であり、前記熱交換器の内の1つは、前記第1ミラーと該第1ミラーを保持する分割鏡筒との間に設けられ、前記鏡筒冷却装置は、前記第1ミラーを保持する分割鏡筒を他の分割鏡筒より低温で冷却することが望ましい。このようにすれば、最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易い第1ミラーを他のミラーより効率よく冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になる。

上記熱交換器は鏡筒（又は分割鏡筒）とミラーとの間で熱交換を行うものであればいずれのものでも良く、例えば、ヒートパイプ（HP）にし得る。この場合、具体例に示したように、ヒートパイプ（HP）が冷却しようとするミラーの表面（反射面）の光照射領域を覆わないように、ミラー表面と裏面をヒートパイプ（HP）で挟み込むことができる。

第8及び第9態様に従う露光装置において、前記マスク（R）は反射型マスクであり、前記マスクの前記照明光の入射側と反対側に配置される第2冷却装置（36）を更に備えていても良い。かかる場合には、マスクの照射変動をも抑制する

ことができるので、より効果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

本発明の第10の態様に従う露光装置は、マスク(R)に照明光(EL)を照射する照明光学系(PRM、IM、30、M、42)を有し、前記マスクに形成されたパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、反射光学素子(M1~M4)を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系(PO)と；前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒(PP)との間に設けられる熱交換器(HP)とを備える露光装置が提供される。

この態様の露光装置によれば、投影光学系を構成する反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に設けられる熱交換器を備えていることから、マスクから出射される照明光が前記反射光学素子に照射され、該反射光学素子に温度上昇が生じると、熱交換器によりその反射光学素子と鏡筒との間で熱交換が行われ、その反射光学素子が冷却される。この熱交換器による熱交換は、反射光学素子と鏡筒との温度が一致するまで行われる。従って、予め鏡筒を冷却しておくことにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像特性の悪化をある程度防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

第10の態様の露光装置において、前記熱交換器は、前記反射光学素子の反射面の一部とその裏面との少なくとも一方に接続されていても良い。また、前記投影光学系は反射光学素子の他、屈折光学素子を有する反射屈折光学系であっても勿論良いが、前記投影光学系は複数の反射光学素子のみから成り、前記複数の反射光学素子の少なくとも1つが前記熱交換器と接続されていても良い。この場合において、前記複数の反射光学素子のうち、前記マスクに対する光学的距離が最も短い反射光学素子(M1)が前記熱交換器(HP)と接続されていることが

望ましい。かかる場合には、マスクに対する光学的距離が最も短いため最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易い反射光学素子を冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になる。

上記熱交換器を有する第8～10の態様に従う露光装置において、前記投影光学系は、リング・イメージ・フィールドを有し、かつ物体面側が非テレセントリックで、像面側がテレセントリックな光学系であっても良い。また、第8～10の態様に従う露光装置において、前記照明光は、波長5～15 nmの間のEUV光であっても良い。EUV光のように波長が短い照明光は、その照射エネルギーが大きく、ミラー又は反射光学素子を冷却する必要性が高いからである。

本発明の第11の態様に従えば、反射型マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記パターンを前記基板上に投影するための反射光学系を有する投影光学系を設ける工程と；

前記マスクを保持するマスクステージを設ける工程と；

前記基板を保持する基板ステージを設ける工程と；

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射する照明系を設ける工程と；

前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するために、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクステージと基板ステージとを前記第1方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させるステージ制御系を設ける工程とを含む露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第12の態様に従えば、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

前記マスクと直交する第1方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置を設ける工程と；

前記同期移動中に前記投影光学系に対して前記マスクを前記第1方向に相対移動させることによって、前記パターンの像倍率誤差を補正するために補正装置を設ける工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第13の態様に従えば、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法において、

前記マスクと直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置を設ける工程と；

前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置を設ける工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第14の態様に従えば、マスクのパターンを基板上に転写する装置の製造方法であって、

前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学



系を設ける工程と；

前記マスクで反射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程とを備え、

前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第15の態様に従えば、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置を設ける工程と；

前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置を設ける工程とを備える露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第16の態様に従えば、マスクを照射して該マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

複数のミラーから成り且つ前記パターンを前記基板に投影する反射光学系を有する投影光学系を設ける工程と；

前記複数のミラーの少なくとも一つのミラーを冷却するために冷却装置であって、該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域に配置された冷却装置を設

ける工程とを含む露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第 17 の態様に従えば、マスクを照射して該マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

前記投影光学系として、前記照明光が順次に照射される第 1 ミラーと第 2 ミラーとを含む複数のミラーから成る反射光学系を設ける工程と；

前記複数のミラーを保持する鏡筒を冷却する鏡筒冷却装置を設ける工程と；

前記複数のミラーの内の少なくとも 1 つのミラーと前記鏡筒との間に熱交換器を設ける工程とを含む露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第 18 の態様に従えば、マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

マスクに照明光を照射する照明光学系を設ける工程と；

反射光学素子を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に熱交換器を設ける工程とを含む露光装置の製造方法が提供される。

本発明の第 19 の態様に従えば、本発明の前記態様に従う露光装置により製造されたマイクロデバイスが提供される。

本発明の第 20 の態様に従えば、本発明の前記態様に従う露光方法により製造されたマイクロデバイスが提供される。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、第 1 の実施形態の露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 2 は、図 1 の光源装置の内部を構成を示す図である。

図 3 は、図 2 の光源装置の左側面図である。

図 4 は、図 1 のレチクルステージ近傍の構成各部を詳細に示す図である。

図 5 は、レチクルの概略平面図である。

図 6 は、レチクルステージとウエハステージの X Y 平面内の位置を計測する干渉計システムの構成を説明するための図である。

図 7 は、図 1 のスリット板及びその駆動機構の一例を示す平面図である。

図 8 は、図 1 の投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

図 9 A は、空間像計測器を示す平面図、図 9 B は図 9 A の空間像計測器を示す側面図である。

図 10 は、ウエハ（ウエハステージ）及びレチクル（レチクルステージ）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成を概略的に示すブロック図である。

図 11 は、レチクルパターンがウエハ上の複数ショット領域に転写される様子を示す図である。

図 12 は、第 2 の実施形態に係る露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

図 13 は、図 12 の投影光学系の内部構成を示す図である。

図 14 A は図 8 の各ミラーの支持構造を説明するための概略斜視図であり、図 14 B は図 14 A の側面図である。

図 15 は、第 4 の実施形態に係る露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

図 16 は、反射型レチクルへの入射角、レチクルの Z 方向の変位  $\Delta Z$  及びレチクルに形成されたパターンの横ずれの関係を説明する図である。

### 発明を実施するための最良の形態

#### 第 1 の実施形態

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ～図 11 に基づいて説明する。

図1には、第1の実施形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、露光用照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。本実施形態では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束をウエハW上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへの照明光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向(ここではY軸方向)に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

露光装置10は、EUV光ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角 $\theta$ ( $\theta$ はここでは約50mradとする)でレチクルRのパターン面(図1における下面)に入射するように折り曲げる折り返しミラーM(照明光学系の一部)、レチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持するウエハステージWST、フォーカスセンサ(14a, 14b)及びアライメント光学系ALG等を備えている。

前記光源装置 12 は、図 2 に示されるように光源 16 と照明光学系の一部（PRM、IM、30）とから構成される。光源 16 は、例えば半導体レーザ励起による YAG レーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ 20 と、この高出力レーザ 20 からのレーザ光 L を所定の集光点に集光する集光レンズ 22 と、この集光点に配置された銅テープ等の EUV 光発生物質 24 とを備えている。

ここで、EUV 光の発生のしくみについて簡単に説明すると、高出力レーザ 20 からのレーザ光 L が集光レンズ 22 の集光点に配置された EUV 光発生物質 24 に照射されると、この EUV 光発生物質 24 がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態としての高エネルギー状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際に EUV 光 EL を放出する。

このようにして発生した EUV 光 EL は全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置 12 内には放物面鏡 PRM が設けられており、この放物面鏡 PRM によって EUV 光 EL は集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡 PRM の内表面には EUV 光を反射するための EUV 光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置 26 が取り付けられている。冷却装置 26 としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡 PRM の素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡 PRM の表面に形成されている EUV 光反射層として、2 種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデン Mo と珪素 Si を数十層コーティングすると波長約 13 nm の EUV 光を選択的反射することが知られている。反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡 PRM の温度が上昇する。この放物面鏡 PRM を冷却するために、前記冷却装置 26 が必要となるのである。放物面鏡 PRM によって平行光に変換された EUV 光 EL は、

その光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一様な平行光である。

光源装置 1 2 内には、更に、上記の平行光に変換された E U V 光 E L を反射して図 1 の折り返しミラー M の方向に向けて偏向する照明ミラー I M と、この照明ミラー I M の E U V 光 E L の進行方向後方側（図 2 における紙面右側）に配置された波長選択窓（波長選択フィルター）3 0 とが設けられている。照明ミラー I M は、図 2 に示されるように、E U V 光 E L が照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、二種類の物質を交互に積層（例えば、モリブデン M o と珪素 S i を数十層コーティング）した多層膜から成る反射層が形成され、この反射層で反射された E U V 光がレチクル R 上でちょうど細長いスリット状になるよう設計されている。

図 2 の紙面内上下方向が後述するレチクル R のパターン面を照明する所定面積を有する円弧状の照明領域（図 5 の照明領域 1 A を参照）の長手方向に直交する方向に対応し、レチクル R のパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、E U V 光 E L の発光源が有限の大きさを持つため、レチクル R のパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上では E U V 光 E L は 1 m m から 1 0 m m 程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域は、細すぎるということはない。照明ミラー I M の反射面の裏面側には、前述した冷却装置 2 6 と同様の冷却装置 2 8 が設けられている。

前記波長選択窓 3 0 は、ここでは、可視光をカットする目的で設けられている。これは、多層膜から成る E U V 反射膜は、E U V 光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光なども同様に反射してしまう。しかしながら、装置外部から入射してきた可視光や紫外光を E U V 反射膜を通じてレチクル R や投影光学系 P O に導

いたりすると、それらの光のエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー（これらについては後述する）が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招くおそれもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

図3には、図2に示される光源装置12をY方向一侧（図2における左側）から見た状態が示されている。この図3においては、紙面の奥側に図1の折り返しミラーMがある。照明ミラーIMの反射面は図3には表れていないが、図3の紙面奥側からみた場合に長方形状をしている。すなわち、図2では凹曲面、この左側面図である図3では長方形であるから、照明ミラーIMの反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。EUV光ELは、照明ミラーIMで反射した後、図2の紙面内では収束されるが、図3の紙面内では平行光のままである。即ち、図3中のEUV光の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーがゼロと言うわけではない。

図4に示した通り、前記レチクルステージRSTは、図1では図示が省略されているが、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によって該レチクルステージベース32上に浮上支持されている。このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X方向及び $\theta$ 方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

レチクルステージRSTの周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース32上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、後述する主制御装置80によってコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側（上面側）に設けられ該レチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部36とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光ELを露光用照明光として用いる関係から、本実施形態の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に收容されており、このため真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミックなど従来のDUV露光装置で使用されている物で差し支えない。

レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式などが採用できる。



レチクルステージ R S T の Y 方向一側の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 40 a が形成されている。図 4 では図示が省略されているが、図 6 に示されるように、レチクルステージ R S T の X 方向一側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 40 b が形成されている。そして、この露光装置 10 では、従来の D U V 光源の露光装置と同様に、前記反射面 40 a、40 b に測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージ R S T の X Y 面内の位置が管理されている。この干渉計システムについては、後に詳述する。

レチクル R の表面（パターン面）には、E U V 光を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば 2 種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデン Mo と珪素 Si の多層膜を用いて波長 13 nm の E U V 光に対して反射率約 70 % の反射膜を形成している。かかる反射膜の上に E U V 光を吸収する物質を一面に塗布し、パタニングする。多層膜のような反射物体をパタニングすると失敗した時の修復が不可能であるのに対し、吸収層を設けてパタニングする方法だとやり直しが可能になるのでパターン修復が可能になる。実在する大部分の物質が E U V 光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本実施形態では、後述するように、レチクル R の Z 方向位置を計測するために、レーザ干渉計（R I F Z 1 ～ R I F Z 3）が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。この他、この吸収層形成材料の選択の基準としてパタニングのし易さ、反射層への密着性、酸化などによる経年変化が小さいなどが挙げられる。

図 5 には、レチクル R の一例が示されている。図中の中央にある長方形の領域

がパターン領域 P A である。斜線が施された円弧状の領域が露光用照明光である E U V 光 E L が照射される円弧状照明領域 I A である。ここで、円弧状の照明領域を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系 P O の諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクル R のパターン領域 P A の X 方向両端部には、Y 方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマーク R M 1 ~ R M 6 が形成されている。レチクルアライメントマーク R M 1 と R M 4、R M 2 と R M 5、R M 3 と R M 6 は、それぞれほぼ X 方向に沿って配置されている。

図 5 から明らかなように円弧状の照明領域 I A を用いる場合には、一括露光(静止露光)は不可能であるため、本実施形態では後述するようにして走査露光が行われる。

レチクル R は、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクル R そのものの素材は特に問わない。レチクル R の素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス、セラミックス、シリコンウエハなどが考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダ R H の素材と同一の素材をレチクル R の素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光用照明光 E L の照射等による温度上昇に起因してレチクル R やレチクルホルダ R H に熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力(熱応力)が働かないというメリットがある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質をレチクル R とレチクルホルダ R H との素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクル R にシリコンウエハ、レチクルホルダ R H に S i C (炭化珪素)を用いることが考えられる。レチクル R の素材としてシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置などのプロセス装置などがそのまま使用できるという利点も

ある。本実施形態では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダをSiCによって形成している。

図1に戻り、レチクルRの下方(EUV光の入射側)には可動式ブラインド42、視野絞りとしてのスリット板44とがレチクルRに近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド42、スリット板44は、実際には、図4に示されるようにレチクルステージベース32の内部に配置されている。

スリット板44は、円弧状の照明領域IAを規定するもので、投影光学系POに対して固定されていても勿論良いが、本実施形態においては、このスリット板44は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構46によって駆動可能に構成されている。図7には、このスリット板44及びその駆動機構46の平面図が示されている。スリット板44には、露光用照明光としてのEUV光ELが照射されるレチクルR上の円弧状の照明領域(第1照明領域)IAを規定する第1開口としての第1スリット44aと、レチクルRのパターン領域PAの両側に形成されたアライメントマークRM1とRM4(あるいは、RM2とRM5、RM3とRM6)部分に露光用照明光ELが照射される第2照明領域を規定する第2開口としての第2スリット44bとを有する。駆動機構46は、モータ46Aとこのモータの出力軸に継ぎ手46Bを介して連結された送りねじ46Cと、前記モータ46Aの制御部46Dとを備えている。スリット板44の図7における紙面裏側に突設されたナット部(図示省略)に送りねじ46Cが螺合している。このため、モータ46Aの回転によって送りねじ46Cが回転駆動され、これによって送りねじ46Cの軸方向(Y方向)にスリット板44が駆動されるようになっていいる。駆動機構46の制御部46Dは、後述する主制御装置80(図10参照)からの指示に従って、露光時には、スリット板44を、露光用照明光ELが第1スリット44aに照射される第1位置に切り替え、レチクルRの位置合わせ(ア

ライメント) 時には、スリット板 44 を、露光用照明光 E L が第 2 スリット 44 b に照射される第 2 位置に切り替えるようになっている。なお、送りねじを用いる代わりにリニアモータを用いてスリット板 44 を駆動してもよい。

図 4 に戻り、前記可動式ブラインド 42 は、同一レチクル R 内に描かれた冗長回路パターンをウエハ W に転写したくない場合、その冗長回路部分が照明領域 I A 内に含まれるのを防止するためのもので、本実施形態では、後述する主制御装置 80 (図 10 参照) からの指示に応じ、駆動機構 46 を構成する前記制御部 46 D によってレチクルステージ R S T の Y 方向の移動と同期してその Y 方向の移動が制御されるようになっている。この場合において、可動式ブラインド 42 の始動は、レチクル R が走査し始めてからレチクル R と同じように走査し始めても良いし、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めても良い。露光装置に用いられる可動式ブラインドは、例えば、米国特許第 5, 473, 410 号に開示されており、本国際出願で指定した指定国または選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、この米国特許を援用して本文の記載の一部とする。

図 1 に戻り、前記投影光学系 P O は、前記の如く、反射光学素子 (ミラー) のみから成る反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率  $1/4$  倍のものが使用されている。従って、レチクル R によって反射され、レチクル R に描かれたパターン情報を含む E U V 光 E L は、投影光学系 P O によって  $4$  分の  $1$  に縮小されてウエハ W 上に照射される。

ここで、投影光学系 P O について図 8 を用いてより詳細に説明する。この図 8 に示されるように、投影光学系 P O は、レチクル R で反射された E U V 光 E L を順次反射する第 1 ミラー M 1、第 2 ミラー M 2、第 3 ミラー M 3、第 4 ミラー M 4 の合計 4 枚のミラー (反射光学素子) と、これらのミラー M 1 ~ M 4 を保持する

鏡筒 P P とから構成されている。前記第 1 ミラー M 1 及び第 4 ミラー M 4 の反射面は非球面の形状を有し、第 2 ミラー M 2 の反射面は平面であり、第 3 ミラー M 3 の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約 50 分の 1 から 60 分の 1 以下の加工精度が実現され、R M S 値（標準偏差）で 0.2 nm から 0.3 nm 以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクル R と同様の 2 種類の物質を交互に重ねた多層膜により E U V 光に対する反射層が形成されている。

この場合、第 1 ミラー M 1、第 2 ミラー M 2 の素材は、熱膨張率が小さい低膨張ガラスであり、第 3 ミラー M 3、第 4 ミラー M 4 の素材は金属である。各ミラー M 1 ~ M 4 の表面にはレチクル R と同様の 2 種類の物質を交互に重ねた多層膜により E U V 光に対する反射層が形成されている。投影光学系 P O を構成するミラーに用いられる低膨張ガラスとしては、例えばショット社製のゼロデュア（商品名）がある。ゼロデュアは、ハイクォーツ構造をした結晶化相を 70 ~ 80 重量パーセント含んでいるため、その線膨張係数は  $0 \pm 0.05 \times 10^{-6}$  である。また、ゼロデュアの熱伝導率は  $1.6 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$  である。なお、ゼロデュアなどの低膨張ガラスの代わりに、例えばアルミナ系 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、又はコーデライト系 ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) の低膨張セラミックスを用いるようにしても良い。

この場合、図 8 に示されるように、第 1 ミラー M 1 で反射された光が第 2 ミラー M 2 に到達できるように、第 4 ミラー M 4 には穴が空けられている。同様に第 4 ミラー M 4 で反射された光がウエハ W に到達できるように第 1 ミラー M 1 には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

投影光学系 P O が置かれている環境も真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本実施形態では、ミラー M 1 ~ M 4 と当該ミラー M 1 ~ M 4 を保持する鏡筒 P P の間を熱交換機としてのヒートパイプ H P で連結するとともに、鏡筒 P P を冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒 P P を内側のミラー保持部 5 0 と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット 5 2 との 2 重構造とし、冷却ジャケット 5 2 の内部には、冷却液を流入チューブ 5 4 側から流出チューブ 5 6 側に流すための螺旋状のパイプ 5 8 が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット 5 2 から流出チューブ 5 6 を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ 5 4 を介して冷却ジャケット 5 2 内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

このため、本実施形態の投影光学系 P O では、露光用照明光 ( E U V 光 ) E L の照射によりミラー M 1 、 M 2 、 M 3 、 M 4 に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプ H P により一定温度に温度調整された鏡筒 P P との間で熱交換が行われて、ミラー M 1 、 M 2 、 M 3 、 M 4 が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、本実施形態では、図 8 に示されるように、ミラー M 1 、 M 2 、 M 4 等については、その裏面側のみでなく表面側 ( 反射面側 ) の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプ H P が貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第 3 ミラー M 3 の裏面側や第 1 ミラー M 1 の表面側のヒートパイプ H P は、紙面の奥行き方向において鏡筒 P P の内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒 P P の外観は、図 6 に示されるように、四角柱状をしている。

図 1 に戻り、前記ウエハステージ W S T は、 X Y 平面に沿って配置されたウエ

ハステージベース 60 上に配置され、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 によって該ウエハステージベース 60 上に浮上支持されている。このウエハステージ W S T は、前記磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 によって X 方向及び Y 方向に所定ストロークで駆動されるとともに、 $\theta$  方向（Z 軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージ W S T は、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 によって Z 方向及び X Y 面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータは、米国特許出願第 9 9 8, 0 3 8 号（1 9 9 7 年 1 2 月 2 3 日出願）に開示されており、本国際出願で指定した指定国または選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、この米国特許を援用して本文の記載の一部とする。

ウエハステージ W S T の底面には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース 60 上に X Y 2 次元方向に張り巡らされたコイル（図示省略）とによって前記磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 が構成されており、後述する主制御装置 80 により前記コイルに流す電流を制御することによってウエハステージ W S T の 6 次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

ウエハステージ W S T の上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハ W が吸着保持されている。また、このウエハステージ W S T の図 1 における Y 方向他側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 7 4 a が形成されている。また、図 1 では図示が省略されているが、図 6 に示されるように、ウエハステージ W S T の X 方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面 7 4 b が形成されている。そして、この露光装置 10 では、前記反射面 7 4 a、7 4 b に測定ビームを

照射する干渉計システムによって投影光学系P Oに対するその位置が正確に測定されるようになっている。この干渉計システムについては後述する。

ウエハステージW S T上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系（アライメント顕微鏡）A L Gの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うための空間像計測器F Mが設けられている。この空間像計測器F Mは、従来のD U V露光装置の基準マーク板に相当するものである。

図9 A、図9 Bには、この空間像計測器F Mの平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器F Mの上面には、開口としてのスリットS L Tが形成されている。このスリットS L Tは、ウエハステージW S Tの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質6 3の表面に形成されたE U V光の反射層6 4にパターンニングされたものである。なお、反射層6 4に代えてE U V光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

前記スリットS L Tの下方のウエハステージW S Tの上面板には、開口6 6が形成されており、この開口6 6に対向するウエハステージW S Tの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子P Mが配置されている。従って、投影光学系P Oを介して上方から空間像計測器F MにE U V光E Lが照射されると、スリットS L Tを透過したE U V光が蛍光発生物質6 3に到達し、該蛍光発生物質6 3がE U V光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子P Mによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子P Mの出力信号も主制御装置8 0に供給されるようになっている。

次に、図6を用いて、レチクルステージR S T及びウエハステージW S Tの位



置を計測する干渉計システム70（図10参照）の構成等について詳述する。なお、図6においては、各レーザ干渉計の測長軸を用いて該当するレーザ干渉計を代表的に示している。

この干渉計システム70は、レチクルステージRSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2と、ウエハステージWSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2とを含んで構成されている。

干渉計RIFY1は、レチクルステージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72a（図1参照）に参照ビームRIFY1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY1Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計RIFY2は、レチクルステージRSTの反射面40aに計測ビームRIFY2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72a（図1参照）に参照ビームRIFY2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFY2Mの投射位置での固定鏡72aに対するレチクルステージRSTのY方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計RIFY1、RIFY2の計測ビームRIFY1M、RIFY2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心（レチクルRのX方向の中心）と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったも

のがレチクルステージRSTの回転角（ここでは $\alpha 1$ とする）を与える。これらの干渉計RIFY1、RIFY2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 1$ を算出する。

また、干渉計RIFX1は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX1Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72bに参照ビームRIFX1Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX1Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計RIFX2は、レチクルステージRSTの反射面40bに計測ビームRIFX2Mを投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72bに参照ビームRIFX2Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームRIFX2Mの投射位置での固定鏡72bに対するレチクルステージRSTのX方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計RIFX1、RIFX2の計測ビームRIFX1M、RIFX2Mの照射位置の中心が照明領域IAの中心（図5中の点P2参照）と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がレチクルステージRSTのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがレチクルステージRSTの回転角（ここでは $\alpha 2$ とする）を与える。これらの干渉計RIFX1、RIFX2の計測値は、主制御装置80に供給されており、主制御装置80では上記平均値、及び回転角 $\alpha 2$ を算出する。この場合、主制御装置80では上記の回転角 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ のいずれか一方、又はその平均値（ $\alpha 1 + \alpha 2$ ）／2をレチクルステージRSTの $\theta$ 方向の回転角として算出する。

干渉計W I F Y 1は、ウエハステージW S Tの反射面7 4 aに計測ビームW I F Y 1 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）7 6 aに参照ビームW I F Y 1 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F Y 1 Mの投射位置での固定鏡7 6 aに対するウエハステージW S TのY方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計W I F Y 2は、ウエハステージW S Tの反射面7 4 aに計測ビームW I F Y 2 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）7 6 aに参照ビームW I F Y 2 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F Y 2 Mの投射位置での固定鏡7 6 aに対するウエハステージW S TのY方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計W I F Y 1、W I F Y 2の計測ビームW I F Y 1 M、W I F Y 2 Mの照射位置の中心が照明領域I Aに対応するウエハ上の円弧状の露光領域S A（図11参照）の中心と一致するようになっている。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージW S TのY方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージW S Tの回転角（ここでは $\beta 1$ とする）を与える。これらの干渉計W I F Y 1、W I F Y 2の計測値は、主制御装置8 0に供給されており、主制御装置8 0では上記平均値、及び回転角 $\beta 1$ を算出する。

また、干渉計W I F X 1は、ウエハステージW S Tの反射面7 4 bに計測ビームW I F X 1 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）7 6 bに参照ビームW I F X 1 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F X 1 Mの投射位置での固定鏡7 6 bに対するウエハステージW S TのX方向の相対位置を計測する。

同様に、干渉計W I F X 2は、ウエハステージW S Tの反射面7 4 bに計測ビームW I F X 2 Mを投射するとともに、投影光学系P Oの鏡筒P Pに取り付けられた固定鏡（参照鏡）7 6 bに参照ビームW I F X 2 Rを投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームW I F X 2 Mの投射位置での固定鏡7 6 bに対するウエハステージW S TのX方向の相対位置を計測する。

上記2つの干渉計W I F X 1、W I F X 2の計測ビームW I F X 1 M、W I F X 2 Mの照射位置の中心が照明領域I Aに対応する露光領域S Aの中心と一致している。従って、これら2つの干渉計の計測値の平均値がウエハステージW S TのX方向位置を、両計測値の差を干渉計軸間隔で割ったものがウエハステージW S Tの回転角（ここでは $\beta 2$ とする）を与える。これらの干渉計W I F X 1、W I F X 2の計測値は、主制御装置8 0に供給されており、主制御装置8 0では上記平均値、及び回転角 $\beta 2$ を算出する。この場合、主制御装置8 0では上記の回転角 $\beta 1$ 、 $\beta 2$ のいずれか一方、又はその平均値（ $\beta 1 + \beta 2$ ）／2をウエハステージW S Tの $\theta$ 方向の回転角として算出する。

図1に戻り、上記8つの干渉計の全ての計測の基準となる投影光学系P Oの鏡筒P Pには、レチクルRのZ方向（第1軸方向）の位置を計測する計測装置としてのレチクル面測定用レーザ干渉計R I F Zが設けられている。このレーザ干渉計R I F Zは、実際には、図6に示されるように、レーザ干渉計R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3の3つが所定間隔で配置され、鏡筒P Pに固定されているが、図1（及び図4）では、これらが代表的にレーザ干渉計R I F Zとして示されている。

これらのレーザ干渉計R I F Z 1～R I F Z 3からの測定ビームは、折り返し

ミラーMを介して所定の入射角 $\theta$ でレチクルRのパターン面に投射される露光用照明光ELの照射領域、すなわち円弧状の照明領域IA内の異なる3点(P1～P3)に露光用照明光ELの入射光路と出射光路(反射光路)の中心のZ方向の光路を通してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている(図1、図4及び図5参照)。このため、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRのパターン面に所定の入射角 $\theta$ で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用照明光ELに影響を及ぼすことなく、かつ露光用照明光ELによって干渉計測定ビームに影響を及ぼされることなく、高精度(例えば、数nm～1nm以下の精度)でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

レーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3としては、ここでは、本体内に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクルR上の測定ビームの照射位置のZ方向位置を、それぞれ計測する。この場合、図5に示される照明領域IA内の点P1の位置にレーザ干渉計RIFZ1からの測定ビームが投射され、点P2の位置にレーザ干渉計RIFZ2からの測定ビームが投射され、点P3の位置にレーザ干渉計RIFZ3からの測定ビームが投射されるようになっている。点P2は、照明領域IAの中心、即ちパターン領域PAのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域のY方向の中心点であり、点P1、P3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

これら3つのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3の計測値は、主制御装置80に入力されるようになっており(図10参照)、主制御装置80ではこれら3つの計測値に基づいて後述するようにして磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRST、すなわちレチクルRのZ位置及び傾斜を補正するようになっている。

この一方、鏡筒 P P を基準とするウエハ W の Z 方向位置は、投影光学系 P O に固定された斜入射光式のフォーカスセンサ 1 4 によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ 1 4 は、図 1 に示されるように、鏡筒 P P を保持する不図示のコラムに固定され、ウエハ W 面に対し斜め方向から検出ビーム F B を照射する送光系 1 4 a と、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハ W 面で反射された検出ビーム F B を受光する受光系 1 4 b とから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平 6 - 2 8 3 4 0 3 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 4 4 8, 3 3 2 号等の開示される多点焦点位置検出系や特開平 7 - 2 0 1 6 9 9 号及び対応する米国特許第 5 4 7 3 4 2 4 号に記載のフォーカスレベリング系が用いられている。このフォーカスセンサ 1 4 ( 1 4 a、1 4 b ) は鏡筒 P P と一体的に固定されることが重要である。本国際出願で指定した指定国または選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許を援用して本文の記載の一部とする。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では、レチクル R の X Y Z 3 次元方向の位置が投影光学系 P O の鏡筒 P P を基準として計測され、また、ウエハ W の X Y Z 3 次元方向の位置が投影光学系 P O の鏡筒 P P を基準として計測されるので、投影光学系 P O とレチクルステージ R S T とウエハステージ W S T の 3 者は同一の支持部材で支えられる必要は無く、それぞれが別々の支持部材によって支えられても差し支えない。すなわち、投影光学系 P O、レチクルステージ R S T 及びウエハステージ W S T の 3 者間に機械的接触は全くなくても差し支えない。また、前述した干渉計システム 7 0 を構成する各干渉計の本体も、鏡筒 P P に取り付けられたそれぞれの固定鏡を参照して計測を行っているので、投影光学系 P O、レチクルステージ R S T、ウエハステージ W S T と機械的接触は必要無い。

さらに、本実施形態では、投影光学系 P O の側面に、図 1 に示されるように、前記アライメント光学系 A L G が固定されている。このアライメント光学系 A L G としては、ブロードバンド光をウエハ W 上のアライメントマーク（または空間像計測器 F M）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光を格子マークに照射して回折光を検出する L I A（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサや A F M（原子間力顕微鏡）のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。

図 1 0 には、これまでに各所で説明した、ウエハ W（ウエハステージ W S T）及びレチクル R（レチクルステージ W S T）の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成が概略的にブロック図にて示されている。この図 1 0 に示される制御系の内の主制御装置 8 0（マイクロコンピュータ又はミニコンピュータから成る）及び磁気浮上型リニアアクチュエータ 3 4、6 2 によって、ステージ制御系が構成され、また、これらとレチクルステージ W S T 及びウエハステージ W S T とによって駆動装置が構成されている。

次に、上述のようにして構成された本第 1 の実施形態に係る露光装置 1 0 による露光工程の動作について説明する。

まず、不図示のレチクル搬送系によりレチクル R が搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージ R S T のレチクルホルダ R H に吸着保持される。次に、主制御装置 8 0 からの指令に基づいて、駆動機構 4 6 は、露光用照明光 E L が第 2 スリット 4 4 b を照射する位置（第 2 位置）にスリット板 4 4 を移動する。次いで、主制御装置 8 0 では磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 6 2、

34を介してウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置を制御して、レチクルR上に描画されたレチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6を順次各2つ露光用照明光ELで照射するとともに、レチクルアライメントマークRM1、RM4、RM2、RM5、RM3、RM6のウエハW面上への投影像を空間像計測器FMで検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。すなわち、レチクルアライメントを行う。

次に、主制御装置80では、空間像検出器FMのスリットSLTがアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを移動し、アライメント光学系ALGの検出信号及びそのときの干渉計システム70の計測値に基づいて、間接的にレチクルRのパターン像のウエハW面上への結像位置とアライメント光学系ALGの相対位置、すなわちベースライン量を求める。

かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置80ではウエハステージWST上のウエハWの各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマークの位置検出を、ウエハステージWSTを順次移動させつつ、アライメント光学系ALGを用いて行う。このようにして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、それらのデータを用いて最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の位置を求める。統計学的手法として、例えば、特開昭61-44429号及びそれに対応する米国特許第4,780,617号に開示されたEGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）法を用いることができ、本国際出願で指定した指定国または選択した選択国の国内法令が許す範囲において、この米国特許を援用して本文の記載の一部とする。



アライメント計測が終了すると、主制御装置 80 では駆動機構 46 を介してスリット板 44 を、第 1 スリット 44 a に露光用照明光 E L が照射される位置(第 1 位置) へ切り替える。

そして、主制御装置 80 では次のようにしてステップアンドスキャン方式の露光を E U V 光を露光用照明光 E L として用いて行う。すなわち、上で求めたウエハ W 上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム 70 からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 62 を介してウエハステージ W S T を第 1 ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34 を介してレチクルステージ R S T を走査開始位置に位置決めして、その第 1 ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置 80 では磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34、62 を介してレチクルステージ R S T とウエハステージ W S T との速度比が投影光学系 P O の投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光(レチクルパターンの転写)が行われる。こうして第 1 ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージ W S T を第 2 ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第 2 ショットの走査露光を上述と同様にして行う。この場合、レチクルステージ R S T を戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第 1 ショットと第 2 ショットとの走査露光の方向は反対向きで、すなわち第 1 ショットの露光が Y 軸上の一侧から他側の向きで行われた場合には第 2 ショットの露光は他側から一侧の向きで行われる。すなわち交互スキャンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキャン方式でウエハ W 上の全てのショット領域にレチクル R のパターンが転写される。図 11 には、このようにして、レチクルパターンがウエ

ハW上の複数ショット領域Sに転写される様子が示されている。図11の場合は、1枚のウエハから効率良く完全な形のショットが得られるよう、一行内に収めるショット数を適宜偶数、奇数としている。

ここで、上記の走査露光中やアライメント中には、投影光学系POに一体的に取付けられたフォーカスセンサ(14a、14b)によってウエハW表面と投影光学系POの間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、主制御装置80によって磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハW表面と投影光学系POとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御される。

また、主制御装置80では、計測装置としてのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つにより計測された所定の調整用位置情報に基づいて、露光中(レチクルパターンの転写中)の投影光学系POとレチクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を制御してレチクルRの投影光学系POの光軸方向(第1軸方向、Z方向)の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向(第2軸方向)に沿って同期移動させる。この場合、主制御装置80では、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとの同期移動時に、レチクルステージRSTの移動方向毎、例えば第1ショットと第2ショットとで、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つによって計測された第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いてレチクルステージRSTのZ方向位置を調整するようになっている。

従って、本実施形態によると、走査露光によりレチクルRのパターンの全面が

ウエハW上に逐次転写され、この際調整用位置情報に基づいてレチクルRの投影光学系P Oの光軸方向（第1軸方向）の位置が調整されるので、投影光学系P Oのレチクル側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。また、レチクルステージR S TがY軸に沿って一側から他側に移動するときと、他側から一側に移動するときとで、同期移動中のレチクルRのZ方向の位置変位がメカ的要因（ステージの移動特性）や制御特性等で異なる場合であっても、その影響を受けることなく、高精度にレチクルRのZ位置調整を行うことができ、レチクルRのZ方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのをより効果的に抑制することができる。

ここで、主制御装置80では露光中のレチクルRのZ方向の位置調整を、予めレチクル面測定用レーザ干渉計R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3の少なくとも1つによって計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードフォワード制御することにより行っても良く、あるいは実際の走査露光中にレチクル面測定用レーザ干渉計R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3の少なくとも1つによってリアルタイムに計測して得た調整用位置情報（第1の調整用位置情報、第2の調整用位置情報）に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34をフィードバック制御することにより行っても良い。前者の場合には、レチクルステージR S TとウエハステージW S Tとの同期移動中に、レチクルRのZ変位を計測することなく、予め計測された情報に基づいてフィードフォワード制御により調整が行われるので、その調整に際して制御遅れに起因する調整誤差が発生し難い。後者の場合には、前者の場合に比べて制御遅れが発生しないような制御系の工夫が必要であるが、より高精度にレチクルRのZ方向の位置を調整で

きるという利点がある。

また、レチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 は、レチクル R の円弧状の照明領域 I A 内の異なる位置にそれぞれの測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置でレチクル R の Z 方向位置を計測するので、これらのレチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z 1、R I F Z 2、R I F Z 3 の全てを用いることにより、最も正確な測定データに基づいて時々刻々のレチクル R 上のパターン転写の対象領域内の Z 位置のみでなくその傾斜をも調整することが可能になり、結果的に重ね合せ精度を一層向上させることが可能になる。

これまでの説明から明らかなように、本実施形態では主制御装置 80、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34、レチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z、及びレチクルステージ R S T によって、投影光学系 P O に対してレチクル R を第 1 方向に相対移動させることによりレチクル R とウエハ W の同期移動中にレチクルパターンの像倍率誤差を補正するための補正装置、すなわち、レチクル R の移動によって生じるレチクルパターンの像倍率の変化を補償する補正装置が構成されている。また、本実施形態では、主制御装置 80、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34、レチクル面測定用レーザ干渉計 R I F Z、及びレチクルステージ R S T によって、レチクル R とウエハ W の同期移動中に投影光学系の物体面と直交する方向のレチクルの位置と、物体面に対するレチクルの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置が構成されている。さらに、本実施形態では、磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ 34 とレチクルステージ R S T とによってレチクル R とウエハ W の同期移動中、投影光学系 P O の物体面側でレチクル R を Z 方向に駆動する駆動部材が構成されている。

以上詳細に説明したように、本第 1 の実施形態によると、照明光学系 ( P R M、

IM、30、M、44) からレチクルRと直交するZ方向に対して傾いた光軸方向の照明光ELがレチクルRに照射され、この照明光がレチクルRのパターン面で反射され、この反射光が投影光学系POによってウエハW上に投射され、照明光で照明されたレチクルR上のパターンがウエハWに転写される。このレチクルパターンの転写に際して、駆動装置(80、34、62、RST、WST)では投影光学系POの倍率に応じた速度比でレチクルRとウエハWとを同期移動する。この同期移動中に、補正装置(80、34、RST、RIFZ)ではパターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系POに対してレチクルRをZ方向に相対移動させる。この際、補正装置ではレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZの出力に基づいてレチクルRをZ方向に移動するようにしても良い。これにより、本実施形態の露光装置10では、走査露光によりレチクルRのパターンの全面がウエハW上に逐次転写され、この際補正装置により、パターンの像倍率誤差を補正するために投影光学系POに対してレチクルRがZ方向に相対移動されるので、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差が生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが可能となる。

また、本実施形態によると、照明系(12、PRM、IM、30、M、44)は、照明光ELとして波長5～15nmの間のEUV光をレチクルRに照射し、投影光学系POとして複数の反射光学素子(M1～M4)のみからなる反射光学系が用いられているため、EUV光を用いてレチクルパターンが投影光学系POを介してウエハWに転写されるので、非常に微細なパターン、例えば100nm L/Sパターンの高精度な転写が可能である。

また、本実施形態によると、干渉計システム70がレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの投影光学系POに対するXY面内の相対位置を計測し、

レチクルRの投影光学系P Oに対するZ方向の相対位置がレーザ干渉計R I F Zにより計測され、かつウエハWの投影光学系P Oに対するZ方向の相対位置がフォーカスセンサ14により計測されるようになっているので、レチクルステージR S TとウエハステージW S Tと投影光学系P Oとが別々の支持部材に支持されていても何らの支障がない。このため、レチクルステージR S TとウエハステージW S Tと投影光学系P Oとが機械的に連結される必要がないので、レチクルステージR S T、ウエハステージW S Tの移動時の加減速度による反力やそれぞれのステージの支持部材の振動が、投影光学系P Oの結像特性に悪影響を及ぼしたり、一方のステージの移動時の加減速度による反力が支持部材を介して他方のステージの挙動に悪影響を与えることもない。

また、本実施形態によると、照明光学系内のスリット板44は、レチクルパターンの一部に照明光E Lを照射する第1スリット44 aと、レチクルアライメントマークに照明光E Lを照射する第2スリット44 bとを有し、照明光E Lに対し第1スリット44 aと第2スリット44 bとを切り替える駆動機構46が設けられていることから、同一のスリット板44により露光時及びアライメント時のそれぞれに適切な照明領域の設定が可能になる。また、この場合、スリット板44のない場合に比べて照明光学系からレチクルRに向かって照射される照明光の断面形状の自由度が増大し、これに応じて照明光学系を構成する光学素子の設計の自由度が向上する。

また、本実施形態では、露光用照明光E Lが軟X線領域の光であり、ウエハステージW S T上に、蛍光発生物質63と、この表面に露光用照明光E Lの反射層62の薄膜により形成されたスリットS L Tと、該スリットS L Tを介して露光用照明光E Lが蛍光発生物質63に到達した際に蛍光発生物質63が発する光を光電変換する光電変換素子P Mとを有する空間像計測器F Mを備えることから、

通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにもかかわらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器F Mを用いてレチクルパターンのウエハステージW S T上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

また、本実施形態では、レチクルRのパターンが、EUV光ELの反射層上に成膜されたEUV光（露光用照明光）ELの吸収物質によって形成されていることから、露光用照明光である軟X線領域の光の反射物質から成る多層膜をバタニングする場合と異なり、失敗した場合のパターン修復が可能となる。また、上記吸収物質の材料を適当に選択することにより、上記の露光用照明光の反射層と吸収物質とを干渉計R I F Zの測長ビーム（例えば可視領域の光）に対してほぼ同一反射率に設定することができ、レチクルR上の全面でほぼ同一精度でレチクルRのZ軸方向位置を計測することが可能となる。

なお、上記実施形態では、レチクル面計測用レーザ干渉計R I F Zとして、参照鏡一体型のタイプを使用する場合を例示したが、本発明がこれに限定されることはなく、マスクのZ位置を計測する計測装置としての干渉計は、投影光学系に固定された参照鏡と、投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有していても良い。かかる場合には、干渉計本体の発熱に起因して投影光学系、あるいはそれに固定されたアライメントセンサやフォーカスセンサ等の各種のセンサの光学特性に悪影響を与えるのを回避することができる。また、上記実施形態では、レーザ干渉計R I F Zからの3つの測定ビームがレチクルR上の照明領域I A内に照射される場合について説明したが、これに限らず、例えば干渉計R I F Zは、レチクルRのY方向の異なる位置に測定ビームを照射し、各測定ビームの照射位置毎にレチクルRのZ方向の位置を計測するようにしても良い。かかる場合には、少なくともY方向（同期移動方向）については、レチクルRとウエハ

Wとの同期移動中にレチクルRの光軸方向位置ずれ傾斜ずれを調整することが可能になる。この場合において、干渉計R I F Zから少なくとも2本の測定ビームをレチクル上の照明領域I AのY方向の両側にそれぞれ照射する場合には、レチクルRとウエハWとの同期移動中に、いわゆる先読み制御を行うことにより、フィードフォワードにてレチクルRのZ位置の調整が可能になる。このような場合には、主制御装置80、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、レチクル面測定用レーザ干渉計R I F Z、及びレチクルステージR S Tによって投影光学系の物体面と直交する方向のレチクルの位置と、物体面に対するレチクルの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置が構成される。前記先読み制御は、例えば、米国特許第5,448,332号に開示されており、本国際出願で指定した指定国または選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、この米国特許を援用して本文の記載の一部とする。

また、上記実施形態では、同期移動中に投影光学系P Oの物体面側でレチクルRをZ方向（第1方向）に移動させる駆動部材が、レチクルRを保持するレチクルステージW S Tとこれを駆動する磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34とで構成される場合について説明したが、これに限らず、レチクルステージR S T上にレチクルRを保持するレチクルホルダR Hを複数点でZ方向に駆動するピエゾ素子等の別のアクチュエータを設け、これによって駆動部材を構成してもよい。いずれにしても、駆動部材は、投影光学系P Oの物体面に対してレチクルRを相対的に傾けるものであることが望ましい。かかる場合には、同期移動中、駆動部材によって、投影光学系P Oの物体面側でレチクルRがZ方向に移動されるのに加え、投影光学系P Oの物体面に対する傾斜調整も可能になるので、投影光学系の物体面側が非テレセントリックであるにもかかわらず、レチクルRの光軸方向変位に起因してウエハW上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、結果的に重ね合わせ精度の向上を図ることが



可能となる。

また、上記実施形態では、スリット板 44 を用いて円弧状の照明領域 I A を規定する場合について説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光 E L が円弧状の形になるように設計されていればレチクル R 直下のスリット板 44 は必ずしも設ける必要はない。例えば、反射ミラー I M の曲率分布を調整して、円弧状の断面形状を有する照明ビームを形成することができる。また、図 2 及び 3 に示した光源 16 に代えて、照明光 E L の波長を発振するレーザ光源が現在または将来入手可能であるならば、そのレーザ光源をスリット板とともにまたはスリット板なしで用いることができる。このように構成することにより、光源を一層簡略にすることができる。

また、レチクルアライメントマークは R M 1 ~ R M 6 の位置ではなく、図 5 中の R M 7 ~ R M 12 の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板 44 として、第 1 スリット 44 a のみを有するスリット板があれば良く、また、駆動機構 46 は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークを R M 1 ~ R M 12 の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

## 第 2 の実施形態

次に、本発明の第 2 の実施形態について図 12、図 13 に基づいて説明する。ここで、前述した第 1 の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその詳細な説明は省略するものとする。

図 12 には、第 2 の実施形態の露光装置 100 の全体構成が概略的に示されている。この露光装置 100 も、前述した露光装置 10 と同様に、露光用照明光 E L として波長 5 ~ 15 nm の軟 X 線領域の光 (EUV 光) を用いて、ステップア

ンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

この露光装置 100 は、前述した投影光学系 P O に代えて投影光学系 P O' が設けられている点で前述した露光装置 10 と異なり、この点に特徴を有する。

図 13 には、この投影光学系 P O' の内部構成が示されている。この図 13 に示されるように、投影光学系 P O' は、全 5 枚のミラー M 5 ~ 9 によって構成されており、その結果、図 12 に示されるように、レチクルステージ R S T とウエハステージ W S T が投影光学系 P O' に対していずれも同一側となっている。その他の部分の構成等は、前述した第 1 の実施形態の露光装置 10 と同一である。従って、図 12 には、レチクル面測定用レーザ干渉計 R I F のみが示されているが、その他の測定系すなわち、レチクル X Y 干渉計、ウエハ X Y 干渉計、フォーカスセンサ、アライメント光学系等も実際には、第 1 の実施形態と同様に設けられていることは勿論である。

また、図 13 においては、ミラー M 5 ~ M 9 の冷却システムが設けられていないが、第 1 の実施形態と同様に設けられていても良い。

このようにして構成された本第 2 の実施形態の露光装置 10 においても、レチクル面計測用のレーザ干渉計 R I F Z によりレチクル R と投影光学系 P O' の間隔を測定することができるとともに、前述した第 1 の実施形態と同等の作用効果を得ることができる。

さらに、第 1 実施形態で説明した露光装置（図 1 参照）では、ウエハステージ W S T 及びレチクルステージ R S T は、それぞれ、2 次元リニアアクチュエータ 34, 62 によりベース盤 32, 60 上に浮上支持されていたが、図 12 に示す

本実施形態の露光装置100では、前述のようにレチクルステージRSTとウエハステージWSTが投影光学系PO'に対して同一側に配置されているため、それらのステージを共通のベース盤102上で支持することができる。

さらに、露光装置100では、図示しない4つの防振パッド104により水平に支持された定盤106を設けると共に、ベース盤102は2次元リニアアクチュエータ（図示しない）により定盤106上で浮上可能に支持されている。2次元リニアアクチュエータは、図1及び図4において示したレチクルステージRSTとウエハステージWSTの2次元リニアアクチュエータと同様に、ベース盤102の底面に埋め込まれた複数のマグネットと、定盤106の全面に渡って埋め込まれた磁気コイルとにより構成することができる。

図12に示した露光装置100において、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTを互いに逆向きに同期移動すると、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTの重量及び移動速度が異なるために、それらのステージから構成されるステージ系の重心位置が変化する。このステージ系の重心位置の変化により、ベース盤102に反力が及ぼされる。この反力に応じてベース盤102が定盤106に対して移動する。この際、ベース盤102は、ベース盤及び2つのステージを含む系の運動量がステージの運動量と等しくなるように移動し、それらのステージ系の重心位置が変化してベース盤102に偏荷重が生じても、かかる偏荷重をベース盤102の重心移動によりキャンセルすることができる。それゆえ、露光装置100全体の重心を所定位置に保持することができ、走査露光のために2つのステージが移動しても、露光装置自体が振動することが防止される。

### 第3の実施形態

この実施形態では、照射変動に起因する転写像の劣化を抑制するための具体的

構成を示す。図14A及びBには、一例として図8に示した投影光学系P Oの第2ミラーM 2の支持構造が概略的に示されている。図14Aに示されるように、ミラーM 2は、通常と同様、その裏面（図14Aにおける上面）側の周辺部が円筒状のミラー枠90の3箇所内に突設された不図示の3点座の下面に支持され、その表面（反射面）側の周辺部3箇所が不図示の押え板によって固定されている。また、ミラーM 2がずれたり、外れたりしないようにするため、ミラー枠90とミラーM 2の側面との間には、パッキン（図示省略）が介装されている。また、本実施形態では、ミラー枠90には、所定間隔で複数の孔が形成され、これらの孔にそれぞれヒートパイプHPが挿入されている。各ヒートパイプHPは、その放熱部（凝縮部）が鏡筒PPに接続され、その入熱部（蒸発部）がミラーM 2の裏面又は表面に接触されている。但し、実際には、ミラーM 2の表面側に設けられたヒートパイプHPの先端は、図14Bに示されるように、シリコン等の緩衝部材92を介してミラーM 2の表面に当接されている。これによって、ミラーM 2の反射面に歪み等が生ずるのを防止している。

残りのミラーM 1、M 3、M 4も上記と同様の支持構造によって支持され、同様に各ヒートパイプHPの入熱部が当接されている。

上述のようにして、ミラーM 1～M 4がそれぞれの支持構造によって支持され、ヒートパイプHPによって鏡筒PPのインナー部材50に連結されている。

以上詳細に説明したように、本第3の実施形態に係る露光装置10によると、照明光ELの吸収により投影光学系P Oを構成する前記複数のミラーM 1～M 4に温度上昇が生じると、熱交換器としてのヒートパイプHPによってミラーM 1～M 4と鏡筒PPとの間で熱交換が行われ、該ミラーM 1～M 4が鏡筒PPの温度まで強制的に冷却される。この場合、鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット5

2によりミラーM1～M4を保持する鏡筒PPが冷却されており、ヒートパイプHPによる熱交換は、ミラーM1～M4に対する照明光ELの照射中は連続的に行われる。従って、ヒートパイプHPが接続されたミラーM1～M4の変形を防止することができ、投影光学系POの結像特性が悪化するのを防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

この場合、鏡筒PPに保持された全てのミラーM1～M4と鏡筒PPとの間にヒートパイプHPを設け、全てのミラーM1～M4の熱変形を防止するようにしているが、これに限らず、レチクルRとの光学的距離が最も短く、従って照明光ELが最初に照射される第1ミラーM1にのみヒートパイプHP等の熱交換器を接続しても良い。あるいは第1ミラーM1に加え、第2ミラーM2にヒートパイプHPを接続してもよい。照明光ELの熱エネルギーはミラーM1の位置で最も高いので少なくともミラーM1と鏡筒PPとの間にヒートパイプ等の熱交換器を設け、ミラーM1を強制冷却することが望ましい。かかる場合には、レチクルRに対する光学的距離が最も短いいため最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易いミラーM1を冷却できるので、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制することが可能になるからである。

また、第3の実施形態では、鏡筒PPを冷却するとともに、この鏡筒PPにヒートパイプを介してミラーM1～M4を連結することにより、ヒートパイプの熱交換によってミラーを冷却する構成、すなわち、低膨張ガラスから成るミラーM1の表面側（反射面）及び裏面側を冷却する冷却装置を、ヒートパイプHPと冷却ジャケット52との組み合わせにより構成するので、かなりの温度変化に対してはその変形が結像特性を悪化させることがないという低膨張ガラス等の熱伝導率が小さい材料の長所を生かすとともに、限界を超える温度変化が生じないように反射面を直接冷却することにより、照明光の照射に起因する投影光学系の結像

特性の悪化を防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。但し、本発明がかかる構成に限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系POとして複数のミラーから成る反射光学系が用いられ、複数のミラーの内の少なくとも1つのミラーが熱伝導率が小さい材料(例えば低膨張ガラス)により形成されている場合には、該低膨張ガラスから成るミラーの反射面上の照明光の非照射領域に冷却装置(例えばペルチェ素子)を直接配置して、そのミラーの反射面を直接冷却するようにしても良い。なお、ミラーの熱伝導率に関係なく表面冷却は有効であるが、特に熱伝導率が小さいミラーでは裏面を冷却した場合に温度勾配が生じ易いので、表面(反射面)を直接冷却する効果(表面冷却の効果)が大きい。

また、本実施形態に係る露光装置10では、レチクルRとして反射型レチクルが使用され、レチクルRの照明光ELの入射側(パターン面側)と反対側に配置された第2冷却装置を含む温度制御部36を備えていることから、レチクルRの照射変動をも抑制することができ、より効果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になっている。

また、本実施形態では、熱交換器としてヒートパイプHPを使用するので、機器の軽量・コンパクト化に貢献することができるが、これに限らず、他の熱交換器を用いても良い。

なお、上記実施形態では、投影光学系POの鏡筒PPを照明光ELの照射中ずっと冷却する場合を例示したが、これに限らず、予め鏡筒を冷却しておくようにしても良い。かかる場合であっても、レチクルRから出射される照明光ELがミラー(反射光学素子)M1~M4に照射され、該ミラーM1~M4がその照明光ELの熱エネルギーにより温度上昇すると、ヒートパイプ等の熱交換器によりその

ミラーと鏡筒との間で熱交換が行われ、そのミラーが冷却される。この熱交換器による熱交換は、反射光学素子と鏡筒との温度が一致するまで行われる。従って、照明光ELの照射に起因する投影光学系POの結像特性の悪化をある程度防止することができ、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を抑制することが可能になる。

#### 第4の実施形態

本発明の第4の実施形態について図15に基づいて説明する。ここで、前述した第1及び2の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその詳細な説明は省略するものとする。

図15に示したように第4の実施形態の露光装置100の全体構成は、投影光学系POの代わりに投影光学系PO'を使用する以外は、図8に概略的に示した露光装置と同様の構造を有する。この露光装置100も、第1の実施形態の露光装置10と同様に、露光用の照明光ELとして波長5～15nmの軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。

図15に示したように、この投影光学系PO'は、Z方向に沿って配置され相互に連結された第1の分割鏡筒PPと第2の分割鏡筒PP'との2部分から構成されており、各分割鏡筒PP、PP'のそれぞれが別々の冷却装置によって独立して冷却されている。すなわち、第1の分割鏡筒PPは、前述した第1の実施形態の鏡筒PPと同様に、内側のインナー部材50と、その外周部に装着された鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水(又

はフロリナート（商品名）が用いられている。冷却ジャケット 5 2 から流出チューブ 5 6 を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ 5 4 を介して冷却ジャケット 5 2 内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

これと同様に、第 2 の分割鏡筒 P P' は、内側のインナー部材 5 1 と、その外周部に装着された鏡筒冷却装置としての冷却ジャケット 5 3 との 2 重構造とし、冷却ジャケット 5 3 の内部には、冷却液を流入チューブ 5 5 側から流出チューブ 5 7 側に流すための螺旋状のパイプ 5 9 が設けられている。ここでは、冷却液として、冷却水が用いられている。冷却ジャケット 5 3 から流出チューブ 5 7 を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ 5 5 を介して冷却ジャケット 5 3 内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

ここで、本第 2 の実施形態では、ミラー M 2、M 4 が分割鏡筒 P P 内に保持され、ミラー M 1、M 3 が分割鏡筒 P P' 内に保持されている。ミラー M 2、M 4 とこれらを保持する分割鏡筒 P P との間が熱交換器としてのヒートパイプ H P で連結されている。同様に、ミラー M 1、M 3 とこれらを保持する分割鏡筒 P P' との間が熱交換器としてのヒートパイプ H P で連結されている。

以上のようにして、構成された本第 2 の実施形態に係る露光装置 1 0 0 では、前述した第 1 の実施形態と同等の効果を得られる他、各分割鏡筒 P P、P P' の冷却ジャケット 5 2、5 3 内に異なる温度の冷却水を流すことにより、それぞれの分割鏡筒を異なる温度まで強制冷却することが可能であり、ここでは、レチクル R からの反射光が最初に照射されるミラー M 1（及び M 3）を保持する分割



鏡筒 P P' をミラー M 2 (及び M 4) を保持する分割鏡筒 P P より低温で冷却するようになっている。これにより、最も熱吸収が多く、結像特性の悪化を招き易いミラー M 1 を他のミラーより効率よく冷却し、結果的に照射変動に起因する転写像の劣化を効率的に抑制している。

第 1 ～ 4 の実施形態で示した投影光学系や、照明光学系は一例にすぎず本発明はそれらに限定されない。例えば、本発明は、半導体素子、液晶表示素子（ディスプレイ素子）、薄膜磁気ヘッド、及び撮像素子（CCD）などのマイクロデバイスの製造に用いられる露光装置だけでなく、レチクルまたはマスクを製造するために、ガラス基板またはシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用することができる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドーピングされた石英ガラス、螢石、弗化マグネシウムまたは水晶などが用いられる。また、EUV露光装置では反射型マスクが用いられ、プロキシミティ方式のX線露光装置、または電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

また、複数の光学素子から構成される照明光学系、及び投影光学系を露光装置本体に組み込んで光学調整を行うとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続するとともに、さらに総合調整（電器調整、動作確認等）をすることにより上記実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度などが管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

さらに、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基いたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述の実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエ

ハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップなどを経て製造される。

#### 産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明によれば、反射型光学系を投影光学系として用いた投影露光装置であっても、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ、その結果的、重ね合わせ露光における重ね合わせ精度を向上することができる。

また、本発明によれば、マスクの光軸方向変位に起因して基板上のパターンの転写像に倍率誤差や位置ずれが生ずるのを効果的に抑制することができ重ね合せ精度の向上を図ることができる露光方法が提供される。また、本発明によれば、照射変動に起因する転写像の劣化を効果的に抑制することができる。このため、本発明を用いれば、例えば、EUV光を用いた高解像度の投影露光を実現することができ、高い集積度のデバイスを高精度で製造することができる。

## 請求の範囲

1. 反射型マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記パターンを前記基板上に投影するための反射光学系を有する投影光学系と；

前記マスクを保持するマスクステージと；

前記基板を保持する基板ステージと；

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射する照明系と；

前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するために、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクステージと基板ステージとを前記第1方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させるステージ制御系とを備える露光装置。

2. 前記調整用位置情報は、前記マスクステージの前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、

前記ステージ制御系は、前記マスクステージと基板ステージとの前記同期移動時に、前記マスクステージの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

3. 前記調整用位置情報は、予め計測された情報であることを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

4. 前記マスクの前記第1軸方向の位置を計測する計測装置を更に備え、  
前記ステージ制御系は、前記マスクステージと基板ステージとの前記同期移動中に前記計測装置を用いて前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項1に記載の露光装置。
5. 前記計測装置は、前記マスクに対し垂直に測長ビームを照射してその反射光を受光することにより、前記マスクの前記第1軸方向の位置を計測する干渉計であることを特徴とする請求項4に記載の露光装置。
6. 前記干渉計は、前記マスクの前記露光用照明光の照射領域に少なくとも2本の測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスクの第1軸方向の位置を計測することを特徴とする請求項5に記載の露光装置。
7. 前記干渉計は、前記マスクの前記第2軸方向の異なる位置に測長ビームを照射し、各測長ビームの照射位置毎に前記マスクの第1軸方向の位置を計測することを特徴とする請求項5に記載の露光装置。
8. 前記干渉計は、前記投影光学系に固定された参照鏡と、前記投影光学系から離れた位置に配置された干渉計本体とを有することを特徴とする請求項5に記載の露光装置。
9. 前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードフォワード制御にて調整することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

10. 前記ステージ制御系は、前記計測した調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置をフィードバック制御にて調整することを特徴とする請求項4に記載の露光装置。

11. 前記マスクのパターン面に近接して配置され、前記露光用照明光が照射される前記マスク上の第1照明領域を規定する第1スリットと、前記マスクに形成されたマーク部分に前記露光用照明光が照射される第2照明領域を規定する第2スリットとを有するスリット板と；

前記スリット板を、前記露光用照明光が前記第1スリットに照射される第1位置と、前記露光用照明光が前記第2スリットに照射される第2位置との間で切替える切替機構とを更に備える請求項1～10のいずれか一項に記載の露光装置。

12. 第1スリットが、第1照明領域を円弧状に規定するための形状を有することを特徴とする請求項11に記載の露光装置。

13. 前記マスクステージと前記基板ステージと前記投影光学系とが別々の支持部材に支持され、

前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の位置を計測する干渉計システムを更に備え、

前記干渉計システムが前記投影光学系を支持する部材に対する前記マスクステージと前記基板ステージとの前記第1軸に直交する前記第2軸を含む面内の相対位置を計測することを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の露光装置。

14. 前記露光用照明光が軟X線領域の光であり、

前記基板ステージ上に、蛍光発生物質と、この表面に前記露光用照明光の反射

層又は吸収層の薄膜により形成された開口と、前記開口を介して前記露光用照明光が前記蛍光物質に到達した際に前記蛍光発生物質が発する光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器を更に備えることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置。

15. 前記露光用照明光が軟 X 線領域の光であり、

前記マスクのパターンが、前記露光用照明光を反射する反射層上に、該照明光を吸収する物質を塗布することによって形成されていることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置。

16. さらに、照明用光源を備え、該光源が、励起用レーザ装置と、EUV 光発光物質と、EUV 光を集光して特定の方向に光送するための鏡とを含むことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置。

17. 前記鏡が、反射面に多層膜が形成された放物面鏡である請求項 16 に記載の露光装置。

18. 前記照明系が波長選択フィルターを有する請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置。

19. マスクステージ及び基板ステージを移動可能に支持する共通のベース盤と、該ベース盤を移動可能に支持する定盤とをさらに備え、該マスクステージ及び基板ステージの少なくとも一つのステージの移動により生じる反力に応じてベース盤が移動することができる請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の露光装置。

20. 前記反射光学系が複数のミラーを含み、該ミラーの少なくとも一つを温度

調整するための熱交換器をさらに備え、該熱交換器が該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域上に装着されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

21. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記マスクと直交する第 1 方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系と；

前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；

前記同期移動中に前記投影光学系に対して前記マスクを前記第 1 方向に相對移動させることによって、前記パターンの像倍率誤差を補正するために補正装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

22. 前記照明系は、前記照明光として波長 5 ～ 15 nm の間の EUV 光を前記マスクに照射し、

前記投影光学系は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴とする請求項 21 に記載の露光装置。

23. 前記反射光学素子がミラーであり、該ミラーの少なくとも一つを温度調整するための熱交換器をさらに備え、該熱交換器が該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域上に装着されていることを特徴とする請求項 22 に記載の露光装置。

24. 前記補正装置は、前記マスクの前記第 1 方向の位置を計測する計測装置を有し、前記計測装置の出力に基づいて前記マスクを移動することを特徴とする

請求項 2 1 又は 2 2 に記載の露光装置。

2 5 . マスクのパターンを基板上に転写する露光装置において、 前記マスクと直交する第 1 方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；

前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

2 6 . 前記マスクは反射型マスクであり、

前記照明光学系は、前記照明光として波長 5 ～ 1 5 n m の間の E U V 光を前記マスクに照射し、

前記投影光学系は、複数の反射光学素子のみからなることを特徴とする請求項 2 5 に記載の露光装置。

2 7 . 前記反射光学素子がミラーであり、該ミラーの少なくとも一つを温度調整するための熱交換器をさらに備え、該熱交換器が該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域上に装着されていることを特徴とする請求項 2 6 に記載の露光装置。

2 8 . 前記補正装置は、前記同期移動中、前記投影光学系の物体面側で前記マスクを前記第 1 方向に移動する駆動部材を含むことを特徴とする請求項 2 5 又は 2 6 に記載の露光装置。



29. 前記駆動部材は、前記投影光学系の物体面に対して前記マスクを相対的に傾けることを特徴とする請求項28に記載の露光装置。

30. マスクのパターンを基板上に転写する装置であって、

前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系と；

前記マスクで反射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系とを備え、

前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする露光装置。

31. 前記視野絞りは、前記パターンの一部に前記照明光を照射する第1開口と、前記マスクに形成されるマークに前記照明光を照射する第2開口とを有し、

前記第1開口と前記第2開口とを切り替える切り替え機構を備えることを特徴とする請求項30に記載の露光装置。

32. 第1開口が、円弧状の開口であることを特徴とする請求項31に記載の露光装置。

33. 前記投影光学系が複数のミラーからなる反射光学素子であり、該ミラーの少なくとも一つを温度調整するための熱交換器をさらに備え、該熱交換器が該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域上に装着されていることを特徴とする請求項30に記載の露光装置。

34. マスクと基板とを同期移動させつつ前記マスクに形成されたパターンを

投影光学系を介して前記基板上に転写する露光方法において、

前記マスクとして反射型マスクを用意し、

前記投影光学系として反射光学系を使用し、

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角 $\theta$ で露光用照明光を照射して前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するに際し、

所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第1軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクと基板とを前記第1軸方向に直交する第2軸方向に沿って同期移動させることを特徴とする露光方法。

35. 前記調整用位置情報は、前記マスクの前記第2軸上の移動方向に応じた第1の調整用位置情報と第2の調整用位置情報とを含み、

前記マスクと基板との前記同期移動時に、前記マスクの移動方向毎に、前記第1の調整用位置情報及び第2の調整用位置情報の内の前記移動方向に対応する方の調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項34に記載の露光方法。

36. 前記調整用位置情報は、予め計測された情報であることを特徴とする請求項34又は35に記載の露光方法。

37. 前記マスクと基板との前記同期移動中に前記調整用位置情報を計測するとともに、その調整用位置情報を用いて前記マスクの第1軸方向の位置を調整することを特徴とする請求項34又は35に記載の露光方法。

38. マスクのパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光方法において、

前記マスクと直交する方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射し、

前記マスクに対して前記マスクを相対移動するのに同期して、前記マスクで反射されて前記投影光学系を通過する照明光に対して前記基板を相対移動し、

前記マスクと前記基板との同期移動中、前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償することを特徴とする露光方法。

39. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置であって、 前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置と；

前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置とを備える露光装置。

40. 照明光によりマスクを照射し、該マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

複数のミラーから成り且つ前記パターンを前記基板に投影する反射光学系を有する投影光学系と；

前記複数のミラーの少なくとも一つのミラーを冷却するために冷却装置であって、該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域に配置された冷却装置とを備える露光装置。

41. 前記少なくとも一つのミラーは、熱伝導率が低い材料から構成されている請求項40に記載の露光装置。

4 2. 前記反射面上に前記冷却装置が配置された前記ミラーの裏面側にも冷却装置が配置されたことを特徴とする請求項 4 0 に記載の露光装置。

4 3. 照明光によりマスクを照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記投影光学系として前記照明光が順次に照射される第 1 ミラーと第 2 ミラーとを含む複数のミラーから成る反射光学系が用いられ、

前記複数のミラーを保持する鏡筒を冷却する鏡筒冷却装置と；

前記複数のミラーの内の少なくとも 1 つのミラーと前記鏡筒との間に設けられた熱交換器とを備える露光装置。

4 4. 前記鏡筒が少なくとも 1 つのミラーをそれぞれ保持する複数の分割鏡筒から成り、

前記鏡筒冷却装置が、前記各分割鏡筒を独立して冷却し、

前記熱交換器は、前記各分割鏡筒と該分割鏡筒によって保持される少なくとも 1 つのミラーとの間に少なくとも各 1 つ設けられていることを特徴とする請求項 4 3 に記載の露光装置。

4 5. 前記複数の分割鏡筒の 1 つは、前記照明光が最初に照射される前記第 1 ミラーを保持する分割鏡筒であり、

前記熱交換器の内の 1 つは、前記第 1 ミラーと該第 1 ミラーを保持する分割鏡筒との間に設けられ、

前記鏡筒冷却装置は、前記第 1 ミラーを保持する分割鏡筒を他の分割鏡筒より低温で冷却することを特徴とする請求項 4 4 に記載の露光装置。

46. 前記熱交換器がヒートパイプであることを特徴とする請求項42～44のいずれか一項に記載の露光装置。

47. 前記マスクは反射型マスクであり、

前記マスクの前記照明光の入射側と反対側に配置される第2冷却装置を更に備えたことを特徴とする請求項40又は43に記載の露光装置。

48. マスクに照明光を照射する照明光学系を有し、前記マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置であって、

反射光学素子を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系と；

前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に設けられる熱交換器とを備える露光装置。

49. 前記熱交換器は、前記反射光学素子の反射面の一部とその裏面との少なくとも一方に接続されていることを特徴とする請求項48に記載の露光装置。

50. 前記投影光学系は複数の反射光学素子のみから成り、前記複数の反射光学素子の少なくとも1つが前記熱交換器と接続されることを特徴とする請求項48又は49に記載の露光装置。

51. 前記複数の反射光学素子のうち、前記マスクに対する光学的距離が最も短い反射光学素子が前記熱交換器と接続されることを特徴とする請求項50に記載の露光装置。

52. 前記投影光学系は、リング・イメージ・フィールドを有し、かつ物体面

側が非テレセントリックで、像面側がテレセントリックな光学系であることを特徴とする請求項 50 又は 51 に記載の露光装置。

53. 前記明光は、波長 5～15 nm の間の EUV 光であることを特徴とする請求項 40～45、48 及び 49 のいずれか一項に記載の露光装置。

54. 反射型マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記パターンを前記基板上に投影するための反射光学系を有する投影光学系を設ける工程と；

前記マスクを保持するマスクステージを設ける工程と；

前記基板を保持する基板ステージを設ける工程と；

前記マスクのパターン面に対し所定の入射角で露光用照明光を照射する照明系を設ける工程と；

前記露光用照明光により照明された前記マスクのパターンを前記投影光学系を介して前記基板上に転写するために、所定の調整用位置情報に基づいて前記マスクの前記投影光学系の光軸方向である第 1 軸方向の位置を調整しつつ、前記マスクステージと基板ステージとを前記第 1 方向に直交する第 2 軸方向に沿って同期移動させるステージ制御系を設ける工程とを含む露光装置の製造方法。

55. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

前記マスクと直交する第 1 方向に対して傾いた光軸を有し、前記マスクに照明光を照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクで反射された照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動す

る駆動装置を設ける工程と；

前記同期移動中に前記投影光学系に対して前記マスクを前記第1方向に相対移動させることによって、前記パターンの像倍率誤差を補正するために補正装置を設ける工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

56. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法において、

前記マスクと直交する第1方向に対して主光線が傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置を設ける工程と；

前記マスクの移動によって生じる前記パターンの像倍率の変化を補償する補正装置を設ける工程とを含むことを特徴とする露光装置の製造方法。

57. マスクのパターンを基板上に転写する装置の製造方法であって、

前記マスクの垂線に対して傾けられた照明光を前記マスクに照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクで反射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程とを備え、

前記照明光学系は、前記マスクに対して前記照明光の入射側に近接して配置され、前記マスク上での前記照明光の照射領域を規定する視野絞りを有し、前記視野絞りによって前記照明領域の形状、大きさ、及び位置の少なくとも1つを調整することを特徴とする露光装置の製造方法。

58. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクのパターン面に対して照明光を傾けて照射する照明光学系を設ける工程と；

前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

前記投影光学系の倍率に応じた速度比で前記マスクと前記基板とを同期移動する駆動装置を設ける工程と；

前記同期移動中、前記投影光学系の物体面と直交する方向の前記マスクの位置と、前記物体面に対する前記マスクの相対的な傾きとの少なくとも一方を調整する調整装置を設ける工程とを備える露光装置の製造方法。

59. マスクを照射して該マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

複数のミラーから成り且つ前記パターンを前記基板に投影する反射光学系を有する投影光学系を設ける工程と；

前記複数のミラーの少なくとも一つのミラーを冷却するために冷却装置であって、該少なくとも一つのミラーの反射面の非照射領域に配置された冷却装置を設ける工程とを含む露光装置の製造方法。

60. 照明光によりマスクを照射し、該マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

前記投影光学系として、前記照明光が順次に照射される第1ミラーと第2ミラーとを含む複数のミラーから成る反射光学系を設ける工程と；

前記複数のミラーを保持する鏡筒を冷却する鏡筒冷却装置を設ける工程と；

前記複数のミラーの内の少なくとも一つのミラーと前記鏡筒との間に熱交換器を設ける工程とを含む露光装置の製造方法。



61. マスクに形成されたパターンを基板上に転写する露光装置を製造する方法であって、

マスクに照明光を照射する照明光学系を設ける工程と；

反射光学素子を有し、前記マスクから出射される照明光を前記基板上に投射する投影光学系を設ける工程と；

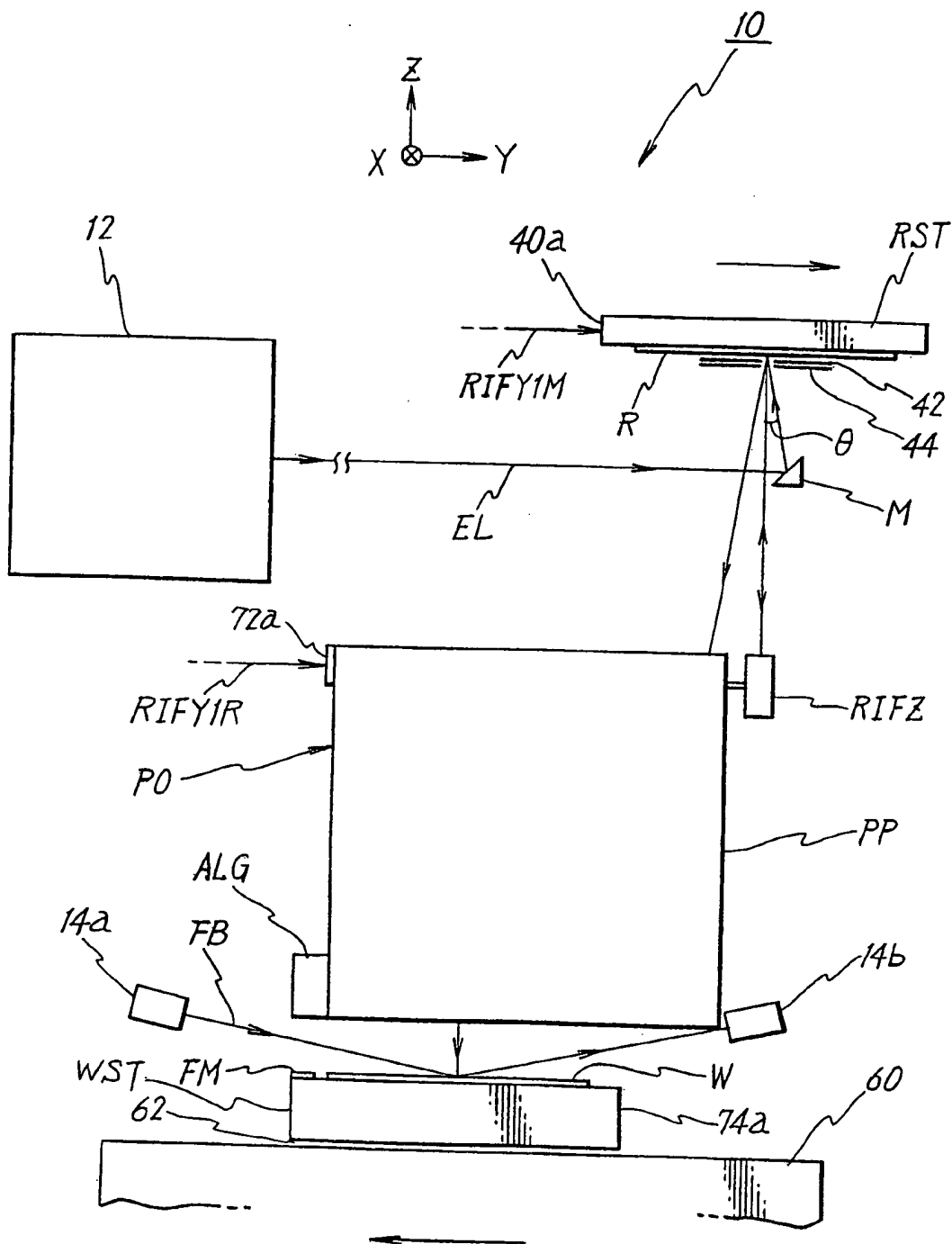
前記反射光学素子とそれを保持する鏡筒との間に熱交換器を設ける工程とを含む露光装置の製造方法。

62. 請求項1, 21, 25, 30, 39, 40, 43及び48のいずれか一項に記載の露光装置により製造されたマイクロデバイス。

63. 請求項34または38に従う露光方法により製造されたマイクロデバイス。

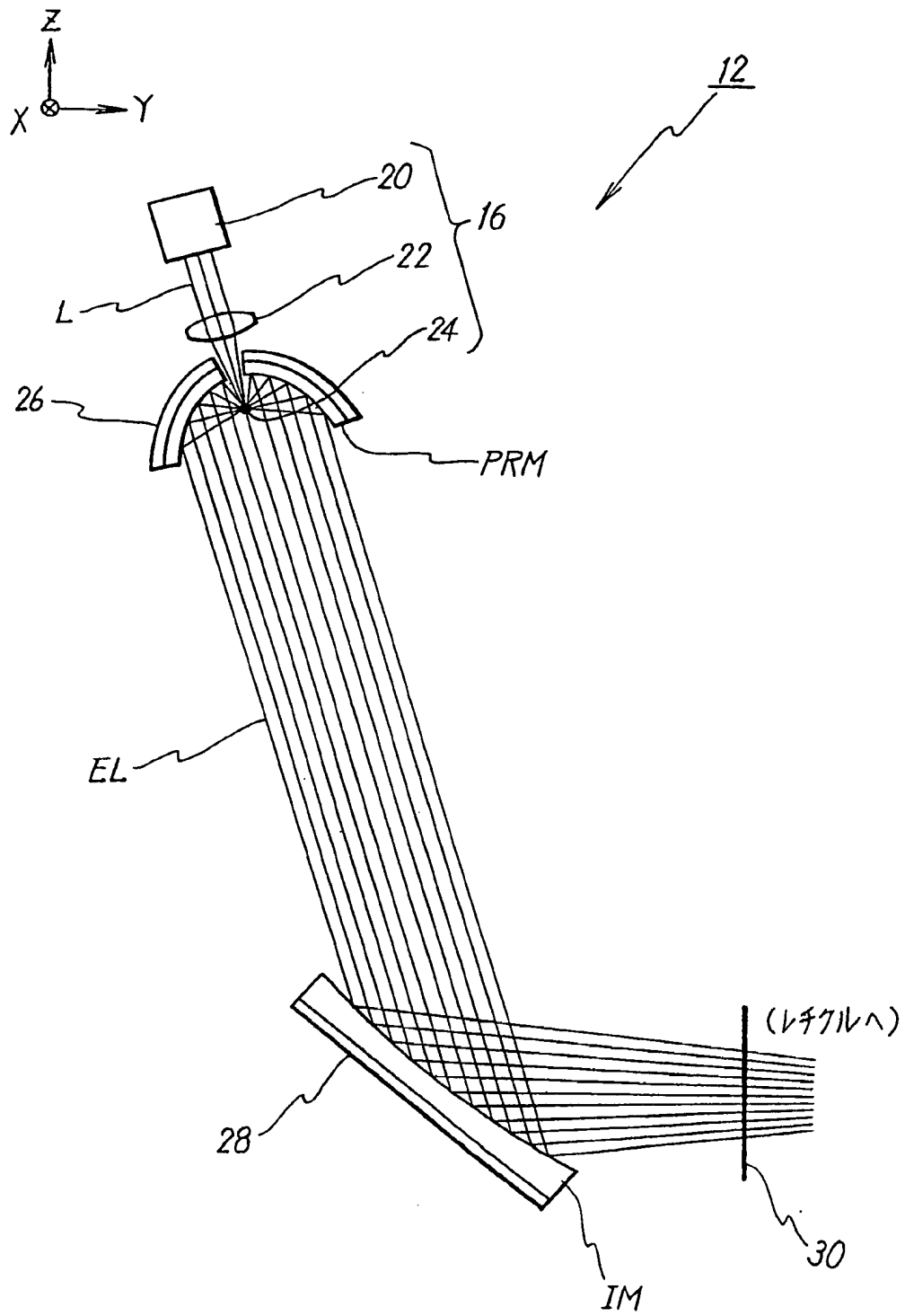
1 / 16

Fig. 1

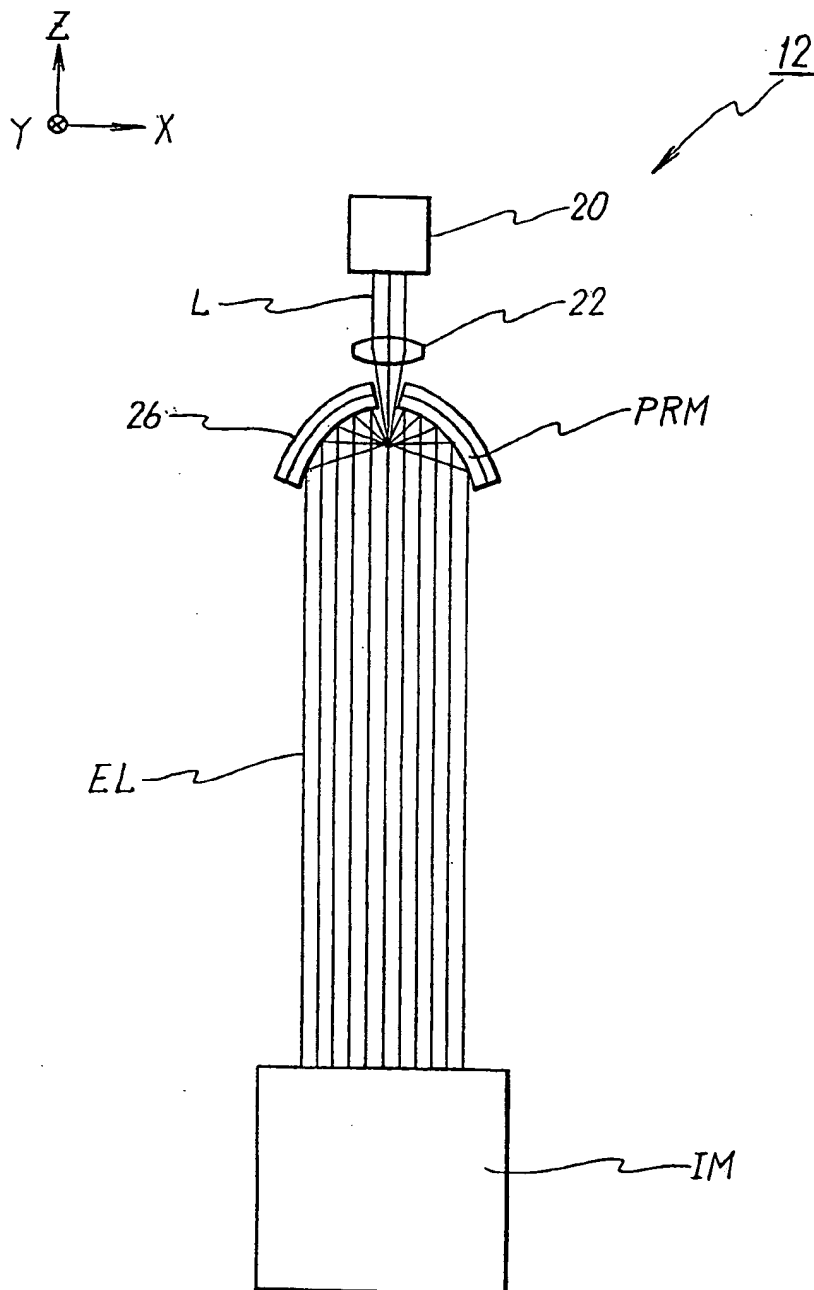


2 / 1 6

F i g . 2



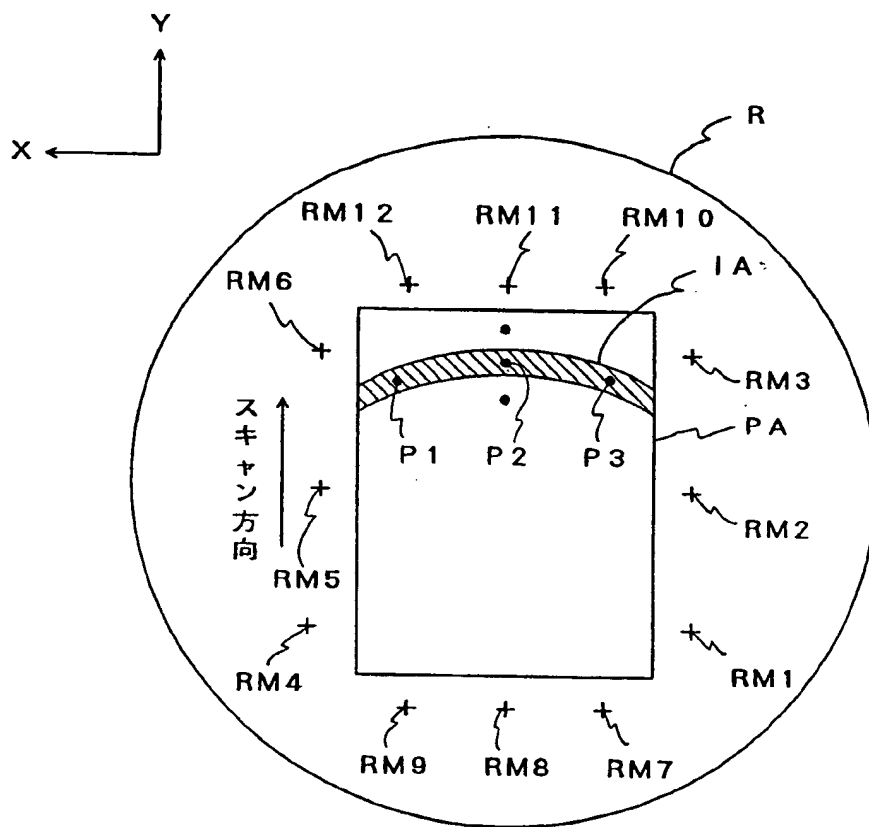
3 / 1 6  
F i g . 3

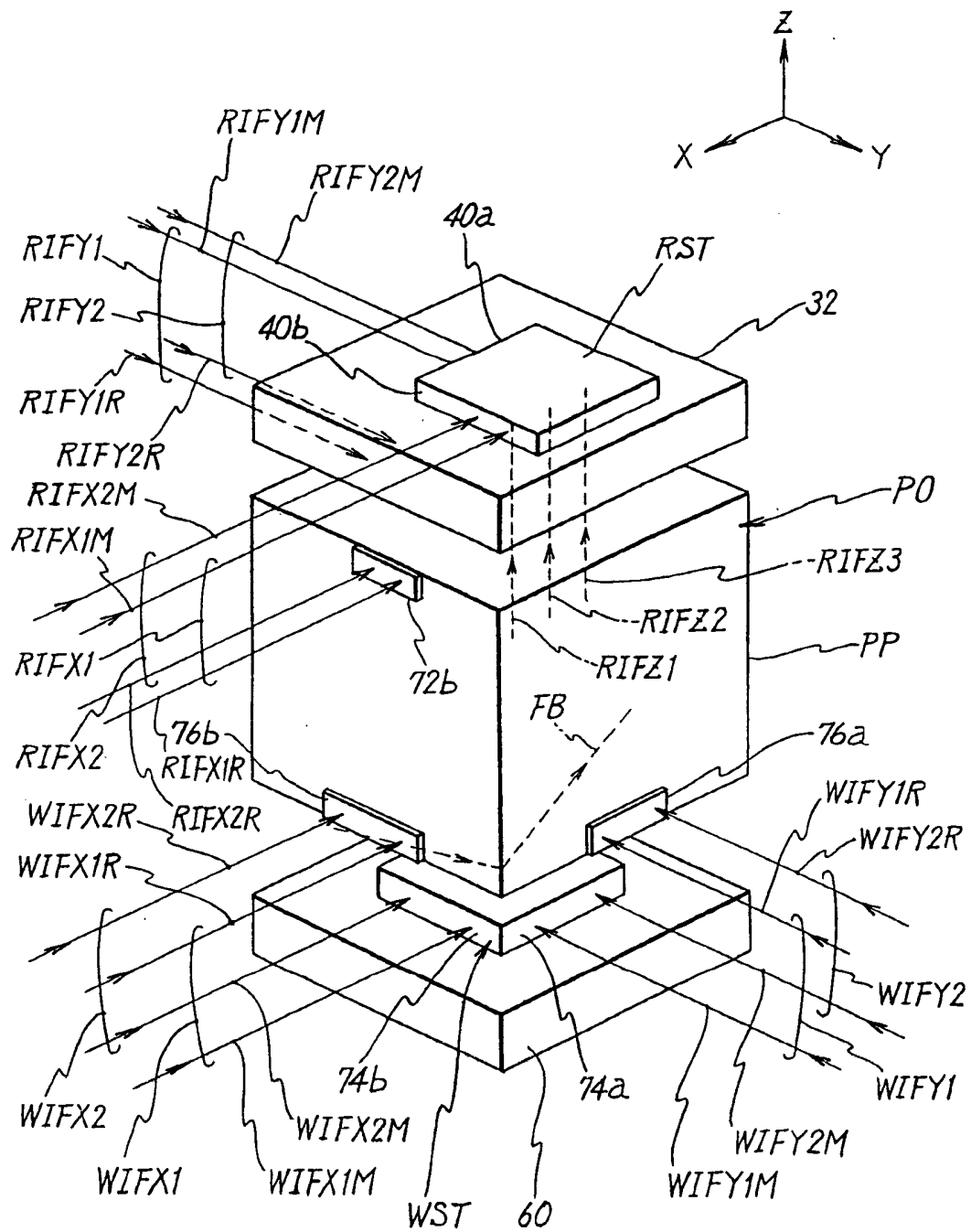


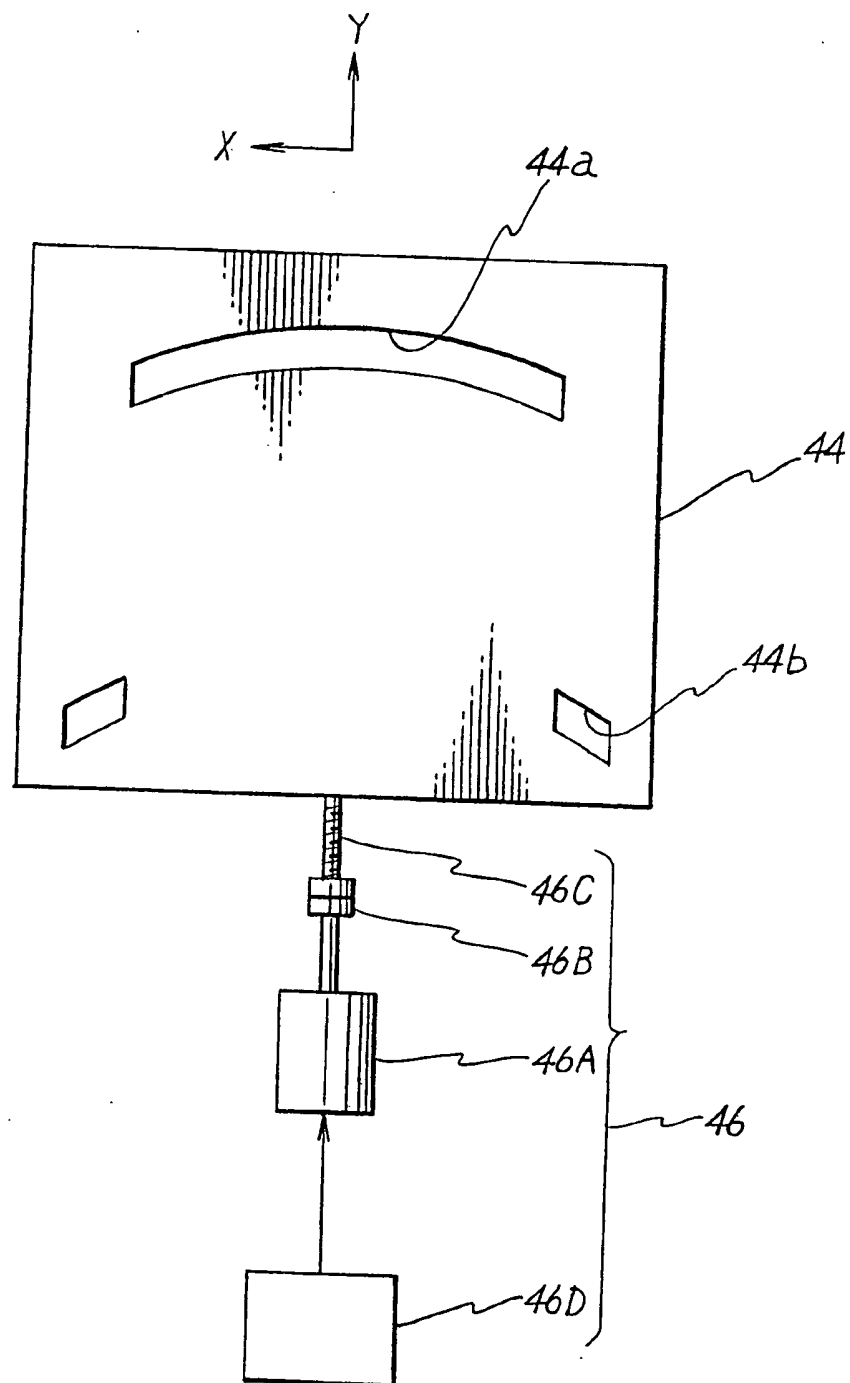


5 / 16

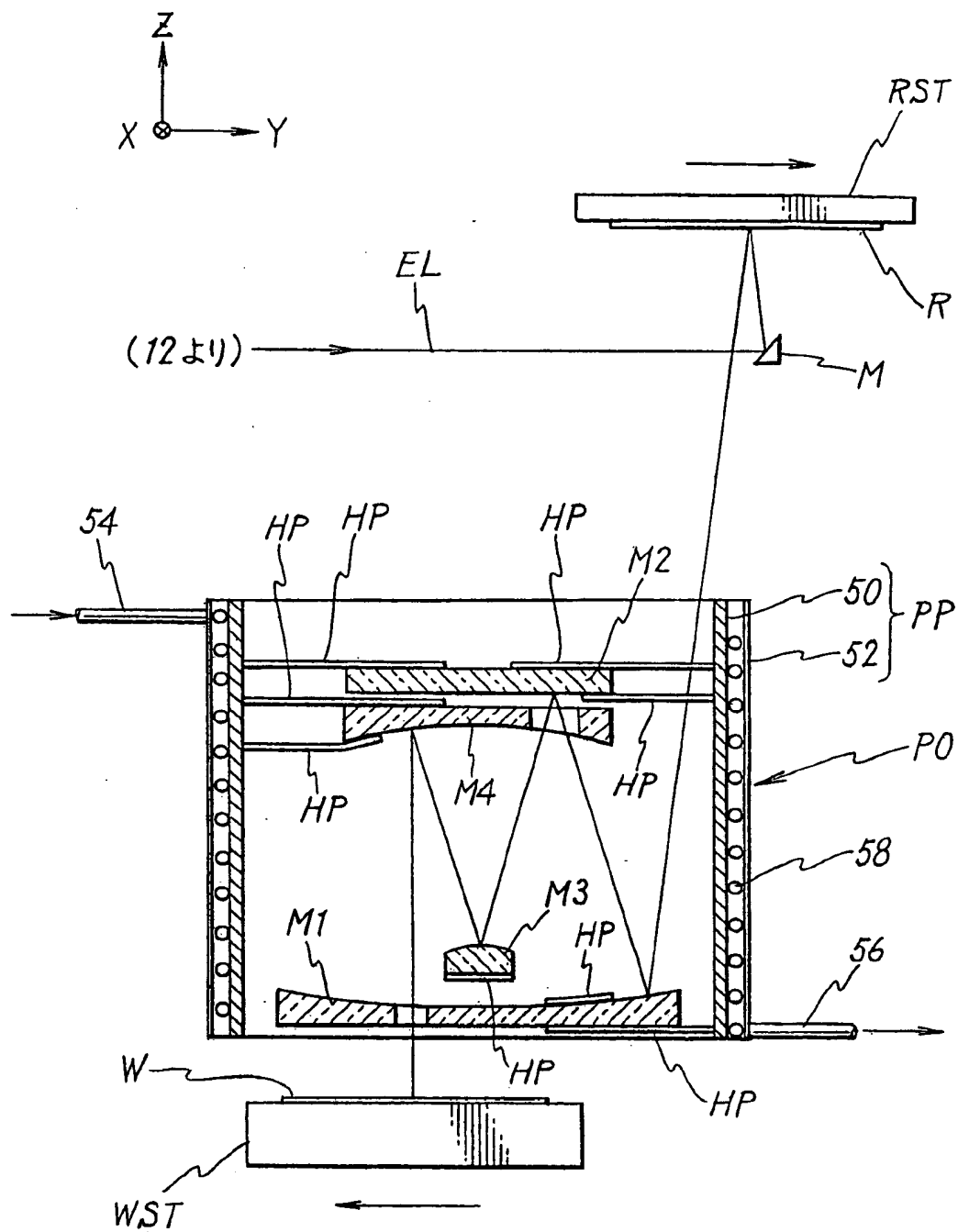
Fig. 5



6 / 1 6  
Fig. 6

7/16  
Fig. 7



8 / 16  
Fig. 8

9/16

Fig. 9A

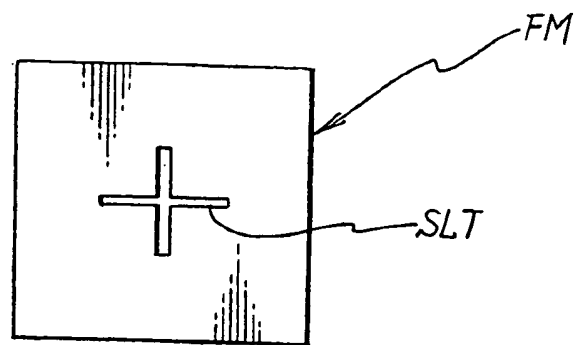
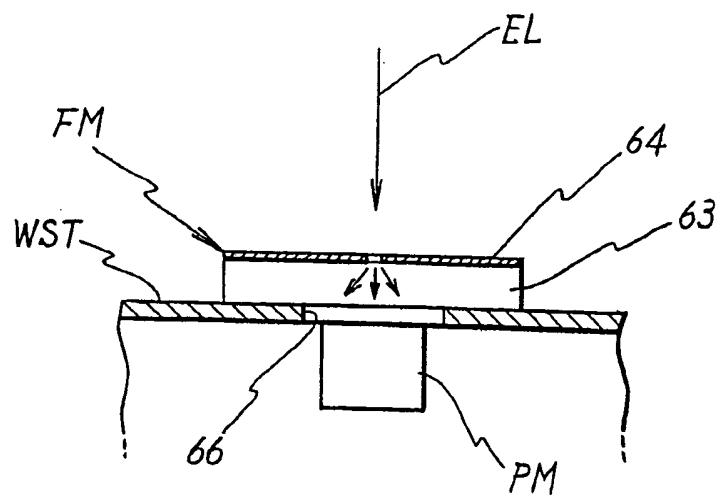
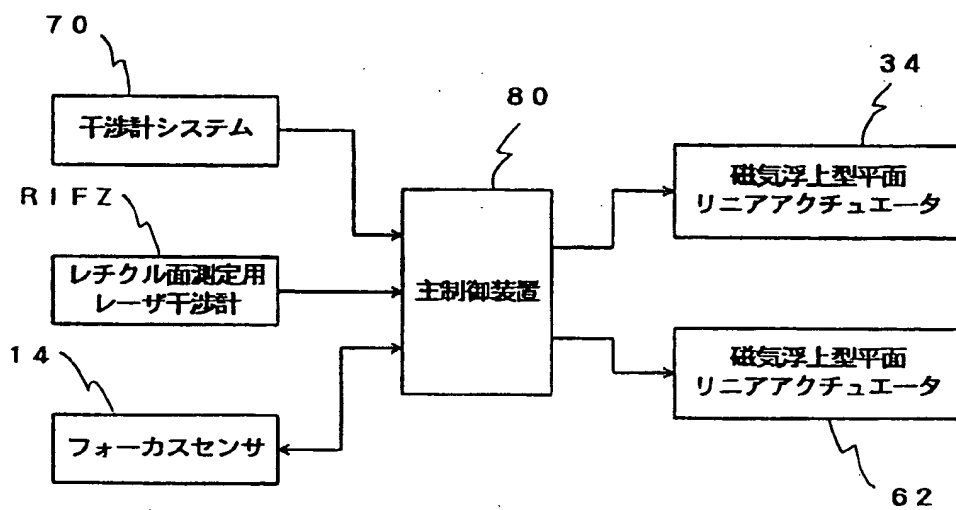


Fig. 9B



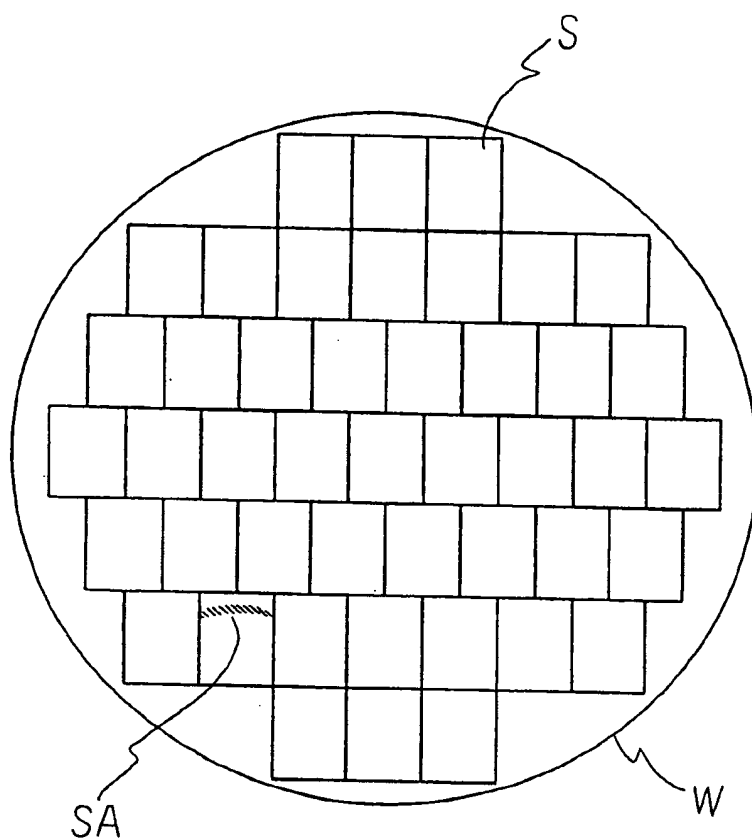
10/16

Fig. 10

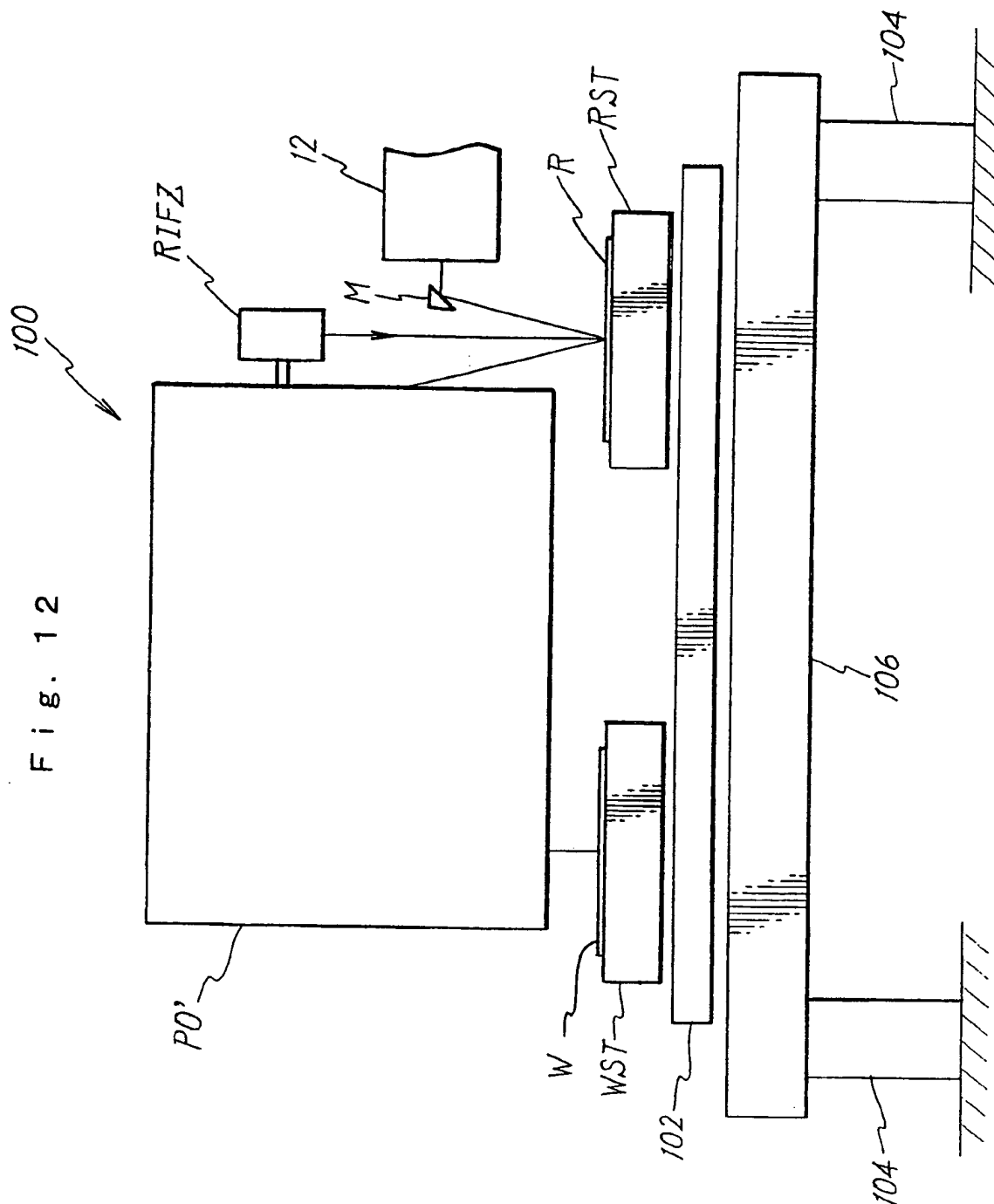


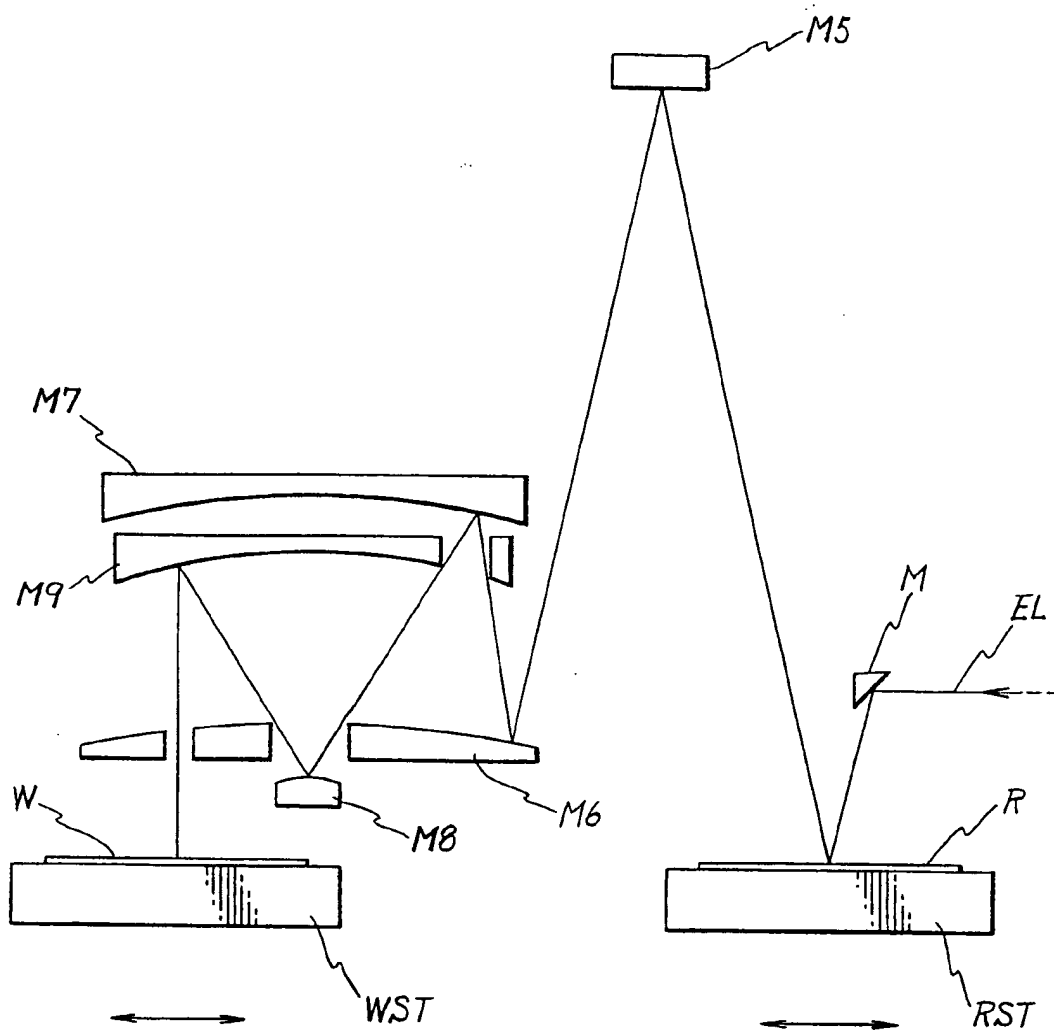
11/16

Fig. 11



12 / 16



13/16  
Fig. 13

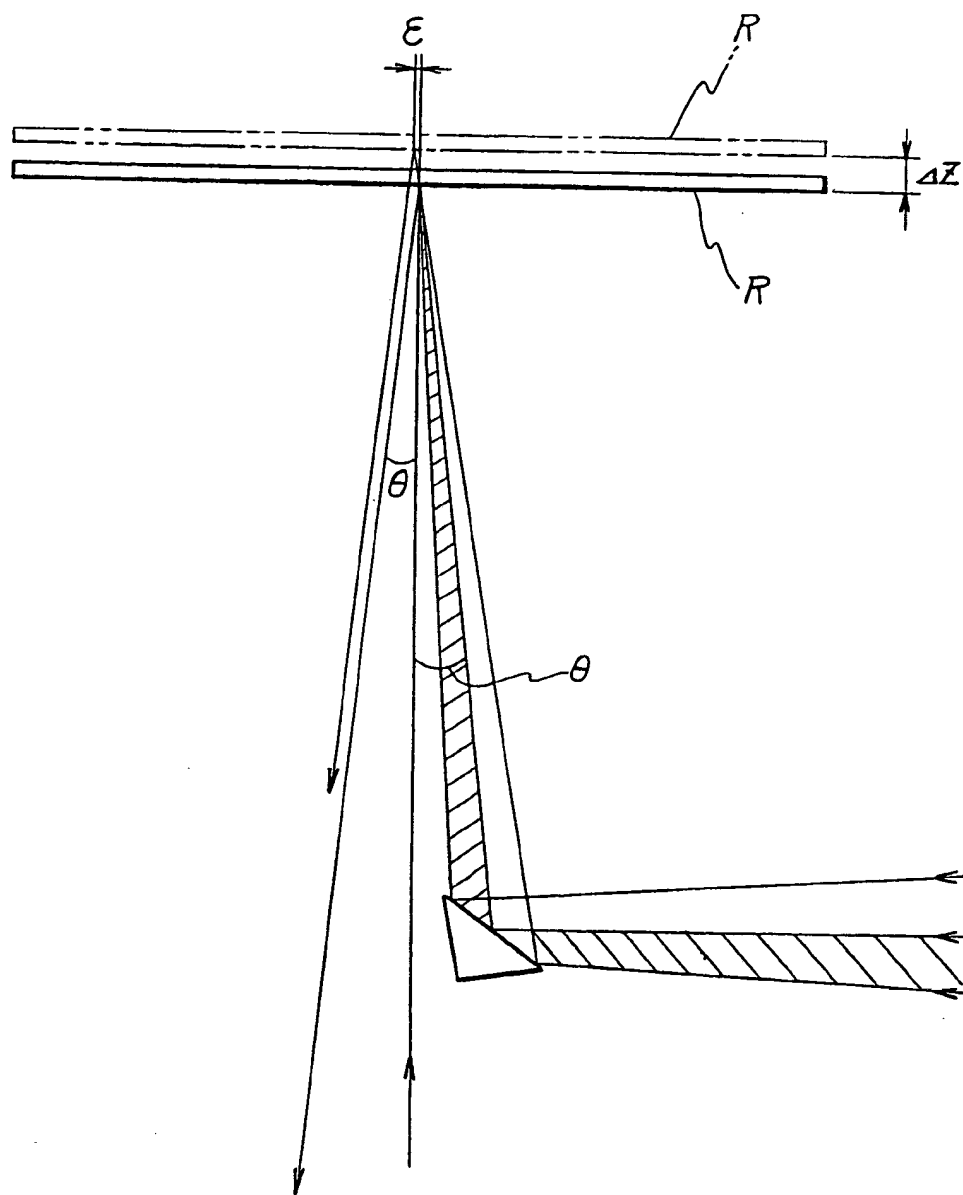






16 / 16

Fig. 16



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/05118

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1998 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 8-31718, A (Hitachi, Ltd.), 2 February, 1996 (02. 02. 96), Fig. 8 (Family: none)	1-61
Y	JP, 8-45824, A (Toshiba Corp.), 16 February, 1996 (16. 02. 96), Claim 4 ; Par. No. [0001] (Family: none)	40-42, 43-47, 53, 59, 60, 61, 62

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
9 February, 1999 (09. 02. 99)

Date of mailing of the international search report  
16 February, 1999 (16. 02. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. <sup>8</sup> H01L21/027 G03F7/20		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl. <sup>8</sup> H01L21/027 G03F7/20		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1998年 日本国公開実用新案公報 1971-1998年 日本国登録実用新案公報 1994-1998年 日本国実用新案登録公報 1996-1998年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 8-31718, A (株式会社日立製作所) 2, 2月, 1996 (02.02.96)、図8、(ファミリーなし)	1-61
Y	JP, 8-45824, A (株式会社東芝) 16, 2月, 1996 (16.02.96)、クレーム4、段落番号0001, (ファミリーなし)	40-42, 43-47, 53, 59, 60, 61, 62
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 09.02.99	国際調査報告の発送日 16.02.99	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 國島 明弘 電話番号 03-3581-1101 内線 3464	4M 8932

